

Aus der Klinik für Unfallchirurgie (Traumatologie)

(Direktor: Prof. Dr. med. Andreas Seekamp)

im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel

an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Retrospektiver Vergleich röntgenologischer und klinischer  
Verlaufsp Parameter nach minimalinvasiver und  
offener dorsaler Fixierung thorakolumbaler Wirbelkörperfrakturen**

Inauguraldissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Medizinischen Fakultät

der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Florian Scheuerlein

aus Erlangen

Kiel 2014

1. Berichterstatter: PD Dr. med. Sebastian Lippross

2. Berichterstatter: PD Dr. med. Clemens Schafmayer

Tag der mündlichen Prüfung: 30.09.2015

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 11.06.2015

gez.: Prof. Dr. med. Johann Roider

(Vorsitzender der Prüfungskommission)

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>I</b>
<b>ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>III</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>VI</b>
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
1.1 Anatomie der Wirbelsäule.....	3
1.2 Ätiologie und Klinik von Wirbelkörperfrakturen.....	5
1.3 Diagnostik .....	6
1.4 Drei-Säulen-Modell nach Denis.....	8
1.5 Magerl-Klassifikation .....	9
1.6 Therapie .....	13
1.7 Überblick über gängige Implantate und Designs .....	15
1.8 Perioperative Komplikationen .....	16
1.9 Zielsetzung der Studie .....	17
<b>2 MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>19</b>
2.1 Erhebung der Patientendaten .....	19
2.2 Auswertung der perioperativen Daten .....	19
2.3 Radiologische Auswertung .....	19
2.4 Operationsmethoden.....	21
2.4.1 Offenes Verfahren .....	23
2.4.2 Minimalinvasives Verfahren .....	25
2.5 Statistik .....	28

<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>30</b>
3.1	Patientenkollektiv .....	30
3.2	Postoperativer Krankenhausaufenthalt.....	37
3.3	Operationsdauer .....	37
3.4	Anzahl der Revisionseingriffe .....	38
3.5	Röntgenologische Messdaten .....	39
3.5.1	Korrekturgewinn durch die Operation.....	39
3.5.2	Retentionsverlust.....	41
<b>4</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>60</b>
<b>7</b>	<b>VERSICHERUNG .....</b>	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>ERKLÄRUNG .....</b>	<b>66</b>
<b>9</b>	<b>ETHIK-KOMMISSION.....</b>	<b>67</b>
<b>10</b>	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>68</b>
<b>11</b>	<b>CURRICULUM VITAE .....</b>	<b>69</b>

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Seitliche Ansicht der knöchernen Wirbelsäulen-anatomie (mit freundlicher Genehmigung von Eurospine (2007))	S. 3
Abb. 2: Obere Ansicht eines Wirbels (mit freundlicher Genehmigung von NetDoktor (2010))	S. 5
Abb. 3: Einteilung der Wirbelsäule nach Denis: A - vorderer Bereich, B - mittlerer Bereich, C- hinterer Bereich (mit freundlicher Genehmigung von Jürgen Harms (2007a), Ethianum Klinikum Heidelberg)	S. 8
Abb. 4: Magerl-Einteilung: Typ A-Verletzung (mit freundlicher Genehmigung von Jürgen Harms (2007b), Ethianum Klinikum Heidelberg)	S. 10
Abb. 5: Magerl-Einteilung: Typ B-Verletzung (mit freundlicher Genehmigung von Jürgen Harms (2007b), Ethianum Klinikum Heidelberg)	S. 11
Abb. 6: Magerl-Einteilung: Typ C-Verletzung (mit freundlicher Genehmigung von Jürgen Harms (2007b), Ethianum Klinikum Heidelberg)	S. 12
Abb. 7: Patient in Bauchlagerung. Bestimmung des betroffenen Segments anhand radiologischer Bildgebung (eigenes Fotomaterial)	S. 22
Abb. 8: Eröffnen des Pedikels mit einem Pfriem (mit freundlicher Genehmigung von Medizin Technik Mauk (2012))	S. 23
Abb. 9: Eindrehen der Pedikelschrauben mit einem Schraubendreher (mit freundlicher Genehmigung von Medizin Technik Mauk (2012))	S. 24
Abb. 10: Verbinden der Pedikelschrauben durch einen Stab (mit freundlicher Genehmigung von Medizin Technik Mauk (2012))	S. 24
Abb. 11: Reco-Implantat (inklusive eines Querstabilisators) aus Sicht des Operateurs (mit freundlicher Genehmigung von Medizin Technik Mauk (2012))	S. 25
Abb. 12: Einschieben der NIM-PAK-Nadel in den Pedikel (eigenes Fotomaterial)	S. 26

Abb. 13: Bohrung des Gewindekanals mit schonender Aufdehnung der Muskeln und Faszie durch einen Dilatator (eigenes Fotomaterial)	S. 26
Abb. 14: Bestimmung des Eingangswinkels und der Eingangsstelle mit einem Fühler (eigenes Fotomaterial)	S. 27
Abb. 15: Festziehen der Extender und der Verschlusschrauben mit Hilfe eines Gegenhalters (eigenes Fotomaterial)	S. 28
Abb. 16: Versorgung der Schnitte durch Hautnähte (eigenes Fotomaterial)	S. 28
Abb. 17: MIS: Altersverteilung nach Lebensjahrzehnten in %	S. 31
Abb. 18: OS: Altersverteilung nach Lebensjahrzehnten in %	S. 31
Abb. 19: MIS: Verteilung der Begleitverletzungen in absoluten Zahlen bei polytraumatisierten Patienten	S. 32
Abb. 20: OS: Verteilung der Begleitverletzungen in absoluten Zahlen bei polytraumatisierten Patienten	S. 32
Abb. 21: MIS: Bruchverteilung im thorakolumbalen Segment in %	S. 33
Abb. 22: OS: Bruchverteilung im thorakolumbalen Segment in %	S. 33
Abb. 23: MIS: Verteilung der Frakturtypen nach der Magerl-Klassifikation in %	S. 34
Abb. 24: OS: Verteilung der Frakturtypen nach der Magerl-Klassifikation in %	S. 34
Abb. 25: MIS: Verteilung der Segmente in monsegmental (mono), bisegmental (bi) und trisegmental (tri) in %	S. 35
Abb. 26: OS: Verteilung der Segmente in monsegmental (mono), bisegmental (bi) und trisegmental (tri) in %	S. 36
Abb. 27: Vergleich der Implantatverweildauer in Tagen zwischen MIS und OS	S. 36
Abb. 28: Vergleich des postoperativen Krankenhausaufenthalts in Tagen zwischen MIS und OS	S. 37
Abb. 29: Vergleich der Operationsdauer in Minuten zwischen MIS und OS	S. 38

Abb. 30: MIS: Verteilung der Revisionseingriffe in absoluten Zahlen	S. 39
Abb. 31: OS: Verteilung der Revisionseingriffe in absoluten Zahlen	S. 39
Abb. 32: Vergleich des GDW-Gewinns in Grad zwischen MIS und OS bzw. MIS polyaxial und MIS monoaxial direkt postoperativ	S. 40
Abb. 33: Vergleich des GDW-Gewinns in Grad zwischen MIS polyaxial bzw. MIS monoaxial und OS direkt postoperativ bei Magerl A3.1 bisegmentaler Stabilisierung	S. 40
Abb. 34: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS und OS bzw. MIS polyaxial und MIS monoaxial 6 Wochen postoperativ	S. 41
Abb. 35: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS polyaxial bzw. MIS monoaxial und OS 6 Wochen postoperativ bei Magerl A3.1 bisegmentaler Stabilisierung	S. 42
Abb. 36: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS und OS bzw. MIS polyaxial und MIS monoaxial 3 Monate postoperativ	S. 42
Abb. 37: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS polyaxial bzw. MIS monoaxial und OS 3 Monate postoperativ bei Magerl A3.1 bisegmentaler Stabilisierung	S. 43
Abb. 38: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS und OS bzw. MIS polyaxial und MIS monoaxial 6 Monate postoperativ	S. 44
Abb. 39: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS polyaxial bzw. MIS monoaxial und OS 6 Monate postoperativ bei Magerl A3.1 bisegmentaler Stabilisierung	S. 44
Abb. 40: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS und OS bzw. MIS polyaxial und MIS monoaxial 12 Monate postoperativ	S. 45
Abb. 41: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS polyaxial bzw. MIS monoaxial und OS 12 Monate postoperativ bei Magerl A3.1 bisegmentaler Stabilisierung	S. 46
Tabelle 1: Kostenaufstellung von MIS und OS unter Berücksichtigung der Operations-, Krankenhausaufenthalts- und Materialkosten	S. 57

## Abkürzungsverzeichnis

AO-Klassifikation	Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
Abd	Abdomen
CT	Computertomographie
d	Tage
GDW	Grundplatten-Deckplattenwinkel
KH	Krankenhaus
L	lumbaler Wirbel
Lig	Ligamentum
M.	Musculus
m	männlich
min	Minuten
MIS	minimalinvasive surgery
mono	monoaxial
MRT	Magnetresonanztomographie
OE	obere Extremität
OS	open surgery
poly	polyaxial
Rö	Röntgen
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
Th	thorakaler Wirbel
UE	untere Extremität
w	weiblich
Wk	Wirbelkörper
VAS	Visuelle Analogskala
VSD	ventrale Spondylodese
vs	versus



## 1 Einleitung

Die große Mehrheit der Deutschen ist mindestens einmal in ihrem Leben von Rückenschmerzen betroffen (Hoffmann & Siegfried, 2005). Wirtschaftlich betrachtet sind 4 % der Arbeitsleistungsausfälle auf rückenbedingte Probleme zurückzuführen (Göbel, 2001). Die Ursachen, die zu diesen Symptomen führen sind ebenso komplex und mannigfaltig wie die Schmerzen selbst. Ausschlaggebend können psychologische Faktoren, Tumore, falsche Körperhaltung, aber auch ein Bewegungsmangel sein. Die Faszination, die viele mit diesem Organ assoziieren und die sich in vielen Sprichwörtern widerspiegelt, schlägt bei Traumen in Sorge und Bestürzung um (Tscherne & Blauth, 1998). Durch die Vielschichtigkeit der damit verbundenen Aufgaben und die komplexe Anatomie können Verletzungen Symptome hervorrufen, die vom einfachen Schmerz über eine komplette Querschnittslähmung bis hin zum Tod im schlimmsten Fall reichen können. Erwähnt wurden Wirbelsäulentraumen erstmalig in Ägypten circa 3000 v. Chr. (Breasted, 1930). Schon 1230 n. Chr. erkannte Roland von Parma die Relevanz der zügigen Versorgung. In Deutschland gilt der Chirurg Wilhelm Wagner (1848-1900) mit seinem Buch „Die Verletzungen der Wirbelsäule und des Rückenmarks“ als Pionier des modernen Managements bei Wirbelsäulentraumen (Silver, 2005).

Eine besonders umfassende Betreuung wird bei der Therapie von Wirbelkörperbrüchen gefordert. Seit Beginn der Behandlung sind unterschiedlichste Behandlungskonzepte erprobt worden, bei denen Patienten teilweise grausamen und schmerzhaften Praktiken ausgesetzt waren. Trotz intensiver Bemühungen führte dies nicht immer zum Erfolg. Durch die konstante Weiterentwicklung und Forschung auf diesem Gebiet gibt es heute jedoch eine ganze Reihe unterschiedlicher Behandlungsformen, auf die Ärzte zurückgreifen können. Prinzipiell werden konservative von operativen Konzepten unterschieden. Bei den operativen Methoden differenziert man unter anderem zwischen externen bzw. internen Fixateuren und der Kyphoplastie. Im letzten Jahrhundert bestand die operative Therapie vor allem aus einer dorsalen Freilegung und anschließenden offenen Rekonstruktion des betroffenen Wirbels. Erstmals in den neunziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden minimalinvasive Verfahren eingesetzt (Schnake et al., 2009). Welche Methode bei welcher Fraktur angewendet wird, hängt von einer Reihe von Umständen ab, die alle in Betracht gezogen werden müssen, um einen optimalen Genesungsprozess zu garantieren. Dazu gehören sowohl objektive Parameter, wie zum Beispiel die radiologische Bildgebung, als auch die individuelle Betrachtung jedes einzelnen Patienten. Viel Erfahrung, Qualifikation und eine stimmige interdisziplinäre

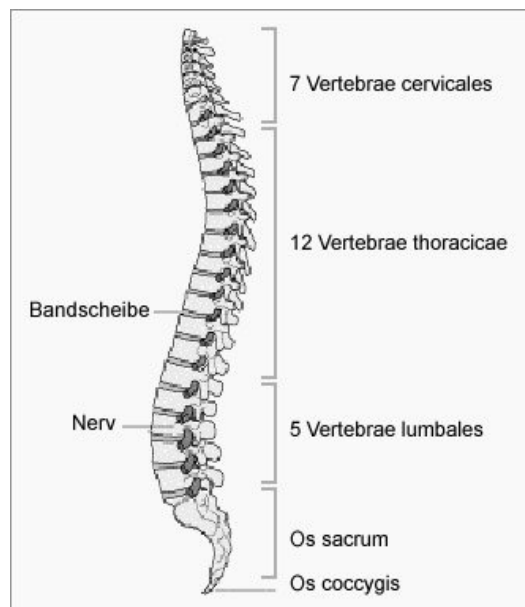
Zusammenarbeit vonseiten des behandelnden Personals sind für eine erfolgreiche Therapie unabdingbar. Trotz vieler Studien und der wissenschaftlichen Weiterwicklung besteht bis zum heutigen Tag noch keine einheitliche Sichtweise, welche Strategie zu einer bestmöglichen Heilung und optimalen Wiedereingliederung in das Sozial- und Arbeitsleben führt (Knop et al., 1999) (Yang et al., 2012).

Die vorliegende Studie zieht einen Vergleich zwischen dem minimalinvasiven Longitude-Verfahren (minimalinvasive surgery, MIS) und dem offenen Reco-Verfahren (open surgery, OS) bei Patienten mit thorakolumbalen Wirbelkörperbrüchen. Ziel ist es, anhand verschiedener Parameter aufzuzeigen, von welchem der beiden Operationsmethoden betroffene Patienten am meisten profitieren.

## 1.1 Anatomie der Wirbelsäule

Die Wirbelsäule (lat. columna vertebralis) wird nach Rössler als Achsenorgan mit drei zentralen Funktionen definiert: die Stützarbeit, die Einhaltung der Balance gegenüber der Schwerkraft bzw. dem Muskelzug und die Schutzfunktion der Nerven, die in ihr verlaufen. Die Wirbel sind wie andere Knochen auch an der Hämatopoese beteiligt (Rössler & Rüter, 2005).

Sie ist in vier Teile gegliedert, die fließend ineinander übergehen und jeweils aus mehreren Wirbeln bestehen (von kranial nach kaudal): 7 Hals-/zervikalen Wirbeln, 12 Brust-/thorakalen Wirbeln, 5 Lenden-/lumbalen Wirbeln, 5 verschmolzenen Kreuzbein-/sakralen Wirbeln und 3-5 Steißbein-/coccygealen Wirbeln. Durch die physiologische doppelte S-Form, die erst im Kleinkindesalter voll ausreift, entstehen vier charakteristische Krümmungen. In der Sagittalebene zeigt sich eine Lordose (ventrale Neigung) am zervikalen und lumbalen Anteil bzw. eine Kyphose (dorsale Neigung) am thorakalen und sakralen Anteil. Angeborene oder erworbene Deviationen dieser Krümmung können zu Schmerzen und einer Einschränkung der Beweglichkeit führen. Meist handelt es sich hierbei um eine Skoliose, eine oft multiplanare Veränderung.



*Abb. 1: Seitliche Ansicht der knöchernen Wirbelsäulen-anatomie (mit freundlicher Genehmigung von Eurospine (2007))*

Den einzelnen Wirbelsäulenanteilen sind typische Merkmale zuzuordnen, in ihrer Gestalt sind sie sich jedoch grundsätzlich ähnlich. Außer dem Atlas, dem ersten zervikalen Wirbel, verfügen sie alle über ein zentrales Wirbelloch, einen Wirbelbogen mit sieben Fortsätzen und einen Wirbelkörper. Die Gesamtheit aller Wirbellöcher ergibt den Wirbelkanal, der außer den Spinalnerven, auch die Blutversorgung in sich beherbergt und über das Foramen magnum in den Schädel mündet. Die Spinalnerven verlassen die Wirbelsäule durch die Zwischenwirbellöcher. Aufgabe ist die Innervation des jeweiligen Versorgungsgebiets in der Peripherie. Den größten Teil der Wirbel nehmen die Wirbelkörper (ventral) inklusive des Knochenmarks ein. Grund- und Deckplatten, auch Endplatten genannt, bilden den unteren und oberen Teil. Bänder und Muskeln, von den Wirbelfortsätzen ausgehend, vereinen die Wirbel zu einem Ganzen, erlauben Rumpfbewegungen (Rotation, Lateroflexion, Ante-/Retroversion) und geben Stabilität. Die arterielle Versorgung erfolgt hauptsächlich über die Arteria spinalis anterior und posterior, der venöse Abfluss über den Plexus venosus vertebralis externus und internus. Wirbelkörper werden von kranial nach kaudal hin größer und keilförmiger. Die Ursache liegt in der kontinuierlich ansteigenden Belastung, gegen die sie bestehen müssen (Tittel, 1999).

Untereinander sind die Wirbel durch 23 Disci intervertebrales (Bandscheiben) verbunden. Diese bestehen aus einem gallertartigen Kern, dem Nucleus pulposus, der von einem Faserring, dem Anulus fibrosus, umgeben ist. Über eigene Blutgefäße und Nerven verfügen sie nicht, die Versorgung erfolgt über die Diffusion. Die Regenerationsfähigkeit ist dadurch erheblich eingeschränkt. Die doppelte S-Form und die Bandscheiben helfen der Wirbelsäule trotz ihrer Widerstandsfähigkeit beweglich zu bleiben und verhindern eine direkte Druckübertragung auf die einzelnen Wirbel. Das von Junghanns erstmalig beschriebene Bewegungssegment beinhaltet zwei anliegende Wirbelkörper inklusive der dazwischen liegenden Discus intervertebralis, Foramina intervertebralia, Wirbelbogengelenke und Bänder (Junghanns, 1977) (Lippert, 2003). Die Beweglichkeit der Wirbelsäule, besonders im zervikalen und lumbalen Bereich, entsteht durch das Aufaddieren der einzelnen 25 Bewegungssegmente, die sich alleine betrachtet nur auf wenige Grade belaufen würden (Niethard et al., 2009).

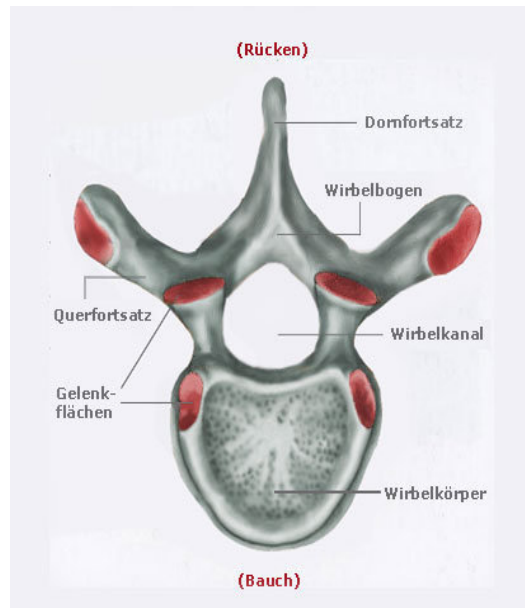


Abb. 2: Obere Ansicht eines Wirbels (mit freundlicher Genehmigung von NetDoktor (2010))

## 1.2 Ätiologie und Klinik von Wirbelkörperfrakturen

Nach einer Statistik des Robert-Koch-Instituts geben zwischen 74 und 85 % der Deutschen an, mindestens einmal in ihrem Leben Rückenschmerzen gehabt zu haben. In den meisten Fällen lässt sich trotz intensiver Diagnostik kein zugrunde liegendes pathologisches Korrelat zuordnen. Insgesamt betrug der finanzielle Ausfall aufgrund dieser Beschwerden allein im Jahre 2008 ungefähr 9 Milliarden Euro. Frauen waren im Durchschnitt häufiger betroffen als Männer (Robert-Koch-Institut, 2012). 76 % der akuten Schmerzfälle klangen nach 3 Monaten ab. Bei den restlichen 24 % bestand ein Zusammenhang mit psychologischen und neurologischen Faktoren (Grotle et al., 2005). Oft reichen die Rückenmuskulatur kräftigende Übungen und temporär begrenzte orale Analgetika- bzw. Muskelrelaxantien als adäquate Therapie aus. Bei subakuten (6-12 Wochen) und chronischen ( $\geq 12$  Wochen) Rückenschmerzen müssen jedoch verschiedene Differentialdiagnosen in Erwägung gezogen werden. 16 % aller Tumore sind Metastasen am Skelettsystem. Die Tochtergeschwulste befinden sich mit 60%iger Wahrscheinlichkeit an der Wirbelsäule (Niethard et al., 2009). Andere, schwerwiegende Ursachen sind unter anderem primäre Wirbelsäulentumoren, internistischer Art oder angeborene bzw. erworbene orthopädische Erkrankungen.

Bei entsprechender Symptomatik muss im Rahmen von Traumen (insbesondere bei Stürzen) und zu hohen biomechanischen Belastungen eine Wirbelsäulenverletzung durch adäquate Diagnostik ausgeschlossen werden. In Deutschland geht man pro Jahr von circa 8000 Läsionen im thorakalen und lumbalen Wirbelsäulenabschnitt aus (Josten et al., 2005). 70-80 % der Wirbelsäulentraumen beschränken sich auf diese Segmente, alleine davon sind 67 % auf den thorakolumbalen Übergang (Th11-L2) begrenzt (Reinhold et al., 2010). Der erste Lendenwirbelkörper war mit 49 % der meistfrakturierte Wirbel (Knop et al., 1999). Die Ursache liegt nach Gonschorek darin, dass in diesem Segment die thorakale Kyphose, die durch das knöcherne Thoraxgerüst verstärkt ist, in die lumbale, freistehende Lordose wechselt (Gonschorek et al., 2013a). Klinikeinweisungen waren in 50 % auf Stürze aus der Höhe zurückzuführen, gefolgt von Verkehrsunfällen mit 22 % (Knop et al., 1999). Wirbelkörperfrakturen sind nach Müller in 90 % der Fälle stabil und in 10 % instabil (Müller, 2010). Stabile Wirbelkörperfrakturen bestehen, wenn keine Verschlechterung der Stellung der Wirbelsäule zu vermuten ist. Bei instabilen Wirbelkörperverletzungen können die Spinalnerven in ihrer Funktion und Anatomie behindert werden. Es besteht die Gefahr einer Nervenläsion. Symptome reichen von Paresen, Sensibilitäts-, Blasen- bis zu Darmentleerungsstörungen und enden im fatalsten Fall in einer kompletten Querschnittlähmung. Hinweise liefern der typische Klopf- und Stauungsschmerz, Hämatome und Fehlhaltungen (Tscherne & Blauth, 1998). Besonders im Rahmen von Poly- und Schädel-Hirn-Traumen werden Wirbelsäulenverletzungen nicht diagnostiziert (Müller, 2010). Dies kann zum Beispiel auf eine unspezifische Symptomatik oder Unachtsamkeit des Untersuchers zurückzuführen sein. Um ein gutes klinisches Outcome zu erreichen, ist es vor allem bei polytraumatisierten und instabilen Wirbelkörperbrüchen essentiell, die Therapie schnellstmöglich zu beginnen (Gonschorek et al., 2013a).

### **1.3 Diagnostik**

Die Eigen- und Fremdanamnese gibt Aufschluss über vorliegende Erkrankungen wie Osteoporose und liefert Informationen über das Unfallgeschehen. Hautverletzungen wie zum Beispiel Hämatome oder Schürfwunden erhärten den Verdacht auf eine Wirbelsäulenverletzung, müssen aber nicht zwangsläufig vorliegen. Kennzeichnend sind Schmerzen, die am Ort der Fraktur lokalisiert sind oder ausstrahlen. Diese können den Patienten so weit einschränken, dass gewisse Bewegungen nicht mehr durchführbar sind oder eine Schonhaltung eingenom-

men werden muss. Nicht immer korreliert der objektive Befund mit dem subjektiven Empfinden. Somatomotorische Ausfälle bestimmter Muskeln (unter anderem Muskelhartspann), schwache bzw. fehlende Reflexe und die herabgesetzte Sensibilität bestimmter Dermatome sind Anzeichen einer Nerven- bzw. Rückenmarksschädigung. Eine strukturierte Untersuchung des gesamten Körpers inklusive der Wirbelsäule mit besonderem Augenmerk auf den neurologischen Status ist unabdingbar. Blutdruck- und Pulsmessungen müssen wegen Verdachts auf einen neurogenen Schock durchgeführt werden (Beck et al., 2005).

Zur Sicherung der Diagnose nimmt die radiologische Bildgebung neben der Anamnese und der klinischen Untersuchung eine wichtige Rolle ein. Nur in strengen Ausnahmefällen wird auf bildgebende Verfahren verzichtet: Dazu muss der Patient bei vollem Bewusstsein und gehfähig sein (Rieger et al., 2006). Außerdem muss es sich um einen einfachen Unfallhergang handeln. Bei den restlichen bzw. unklaren Angelegenheiten empfiehlt sich das konventionelle Röntgen in zwei Ebenen (anterior/posterior und lateral), um knöcherne Verletzungen auszuschließen. Besonders bei komplexeren Traumen sollte die gesamte Wirbelsäule abgebildet werden.

Zur Einteilung der Frakturen hilft die Computertomographie (CT), mit der Spinalkanalengen und Frakturverläufe beurteilt und Knochenfragmente lokalisiert werden. Die CT wird standardgemäß bei polytraumatisierten Patienten und zur Stellung einer Operationsindikation eingesetzt (Gonschorek et al., 2013b). In der sagittalen Ebene lässt sich das Alignment der Wirbelsäule gut erkennen (Rieger et al., 2006).

Mit der Magnetresonanztomographie (MRT) werden Weichteil- und Rückenmarksschäden festgestellt. Auch Knochenödeme werden erfasst. Die MRT wird zur Beurteilung nach der Wirbelsäulenoperation und bei länger bestehenden neurologischen Symptomen eingesetzt (Schueller, 2010). Weiterführende Verfahren wie die Diskographie (Darstellung der Bandscheiben), die Myelographie (Darstellung des Spinalkanals) und die Szintigraphie gehören nicht zur Standarddiagnostik, tragen aber in komplizierten Fällen zur Aufklärung bei. Trotz der sich stets verbessernden apparativen Diagnostik darf man sich nicht blind darauf verlassen, sondern muss sich anhand klinischer Symptome orientieren. Ein Beispiel ist das SCIWORA-Syndrom (spinal cord injury without radiographic abnormality). Hierbei liegen neurologische Symptome vor, die jedoch nicht in der Bildgebung erkennbar sind (Pang, 2004).

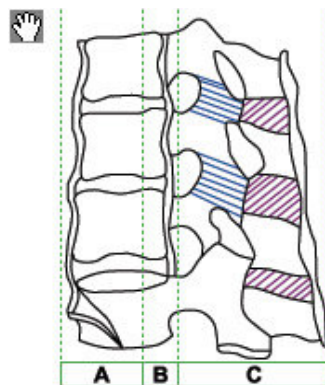
## 1.4 Drei-Säulen-Modell nach Denis

Zu der vollständigen Frakturklassifikation gehört die diagnostische Bildgebung. Für eine korrekte Darstellung der Knochen eignen sich das Röntgen- bzw. CT-Verfahren. Die detaillierte und komplette Betrachtung der Bilder ist Voraussetzung jeder Diagnosestellung.

Auf Basis des Zwei-Säulen-Modells nach Whitesides entwarf Denis das Drei-Säulen-Modell (Whitesides, 1977) (Denis, 1983). Ziel war die Einführung einer einheitlichen Klassifikation der Stabilität bei Wirbelsäulenverletzungen. Dabei werden die einzelnen Bewegungssegmente in drei Säulen gegliedert:

- A - Zu dem vorderen Bereich gehören die vorderen zwei Drittel des Wirbelkörpers und der Bandscheibe sowie das vordere Längsband.
- B - Der mittlere Bereich setzt sich zusammen aus dem hinteren Drittel des Wirbelkörpers und der Bandscheibe, zuzüglich des hinteren Längsbandes.
- C - Der hintere Bereich besteht aus dem gesamten Wirbelbogen einschließlich der dazugehörigen Bänder: Lig. supraspinale, Lig. interspinale, Lig. flavum.

Es handelt sich um ein stabiles Trauma, wenn lediglich die vordere Säule betroffen ist. Bei einer Beeinträchtigung von zwei oder sogar allen drei Säulen spricht man von einer instabilen Verletzung. In so einem Fall liegt eine Gefährdung des Rückenmarks vor.



*Abb. 3: Einteilung der Wirbelsäule nach Denis: A - vorderer Bereich, B - mittlerer Bereich, C - hinterer Bereich (mit freundlicher Genehmigung von Jürgen Harms (2007a), Ethianum Klinikum Heidelberg)*



## 1.5 Magerl-Klassifikation

Die Klassifikation nach Magerl ist eine etablierte Methode zur Einteilung von thorakalen und lumbalen Wirbelsäulenverletzungen (Magerl et al., 1994). Pathomorphologische und prognostische Faktoren wie auch der Unfallprozess werden berücksichtigt. Die diagnostische Radiologie dient wie bei der Denis-Klassifikation als Grundlage. Blauth wies im Hinblick auf die Interobserverreliabilität bei der Magerl-Einteilung nach, dass ein mehr als 90%iger Konsens hinsichtlich der einzelnen Verletzungsklassifikationen besteht (Blauth & Bastian, 1999). Grundlage ist die AO-Klassifikation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen), die Brüche in drei Arten unterteilt:

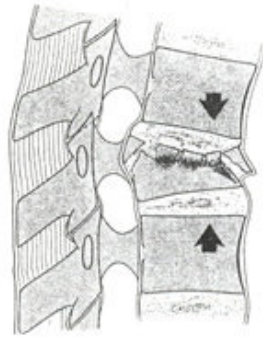
- Typ A - Kompressionsfraktur mit 56,9 %
- Typ B - Flexions-/ Distraktionsfraktur mit 19,9 %
- Typ C - Rotationsfraktur mit 15,2 %.

Die Prozentangaben beziehen sich auf eine Publikation von Knop (Knop et al., 1999). Es wurde der jeweils am schwersten verletzte Wirbel beschrieben. Diese Arbeit beschäftigt sich vorwiegend mit Typ-A-Kompressionsfrakturen, die meist ohne neurologische Symptomatik auftreten. Von Typ A bis Typ C findet eine Steigerung der Instabilität statt. Damit verbunden ist eine erhöhte Verletzungsgefahr für das Rückenmark. Gelegentlich können zwei verschiedene Frakturtypen gleichzeitig bei einem Wirbelkörper auftreten.

Um eine genauere Definition der vorliegenden Fraktur zu gewährleisten, entschloss sich Magerl drei weitere Unterteilungen mit jeweils drei Subgruppen vorzunehmen. Demnach entsteht eine Aufstellung von insgesamt 55 Brüchen, die hilft, eine einheitliche Sichtweise zu etablieren und die Kommunikationen zwischen Ärzten zu erleichtern.

### Kompressionsfrakturen vom Typ A

Kompressionsfrakturen entstehen durch Kräfte, die axial auf den Wirbelkörper treffen. Holdsworth beschrieb, dass vorwiegend die vordere oder mittlere Säule (und somit der Wirbelkörper) am thorakolumbalen Wirbelsäulenabschnitt erfasst werden (Holdsworth, 1970). Dennoch können auch die hintere bzw. mehrere Säulen betroffen sein. Bänder können zwar überdehnt sein, sind aber nicht gerissen. Durch die mechanische Einwirkung findet eine Höhenminderung am Wirbelkörper statt.



*Abb. 4: Magerl-Einteilung: Typ-A-Verletzung (mit freundlicher Genehmigung von Jürgen Harms (2007b), Ethianum Klinikum Heidelberg)*

Kompressionsfrakturen lassen sich weiter unterteilen in A1/Impaktions-, A2/Spalt- und A3/Berstungsbrüche.

A1/Impaktionsbrüche: Gonschorek wies in einer Studie nach, dass es sich um die häufigste Bruchart handelt (Gonschorek et al., 2013a). Die Hinterkante ist nicht betroffen, die entstehenden Keilwirbeldeformitäten sind nicht stark ausgeprägt. Selten finden sich neurologische Defizite. Häufig reicht die konservative Therapie aus. Lediglich bei längerfristigen Schmerzbeschwerden oder bei starker Höhenminderung, die eine Fehlstellung der Wirbelsäule bewirkt, wird ein operativer Eingriff empfohlen. Impaktionsbrüche werden weiter eingeteilt in:

- Ø A1.1 / Deckplattenimpaktion: oft assoziiert mit jüngeren Patienten
- Ø A1.2 / Keilfraktur: kranial, lateral oder kaudal
- Ø A1.3 / Wirbelkörperimpaktion: oft in Verbindung mit Osteoporose

A2/Spaltbrüche: Auch bei dieser Form ist die Hinterkante nicht betroffen. Selten finden sich neurologische Ausfälle. Häufig reicht die konservative Therapie aus. Spaltbrüche werden weiter eingeteilt in:

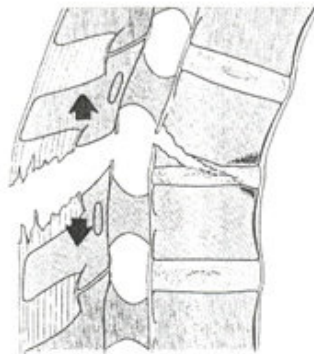
- Ø A2.1 / Sagittale Fraktur: Sagittale Krafteinwirkung; tritt oft mit A3 auf
- Ø A2.2 / Frontale Fraktur: Frontale Krafteinwirkung
- Ø A2.3 / Kneifzangen-/ Pincerfraktur: Der Wirbelkörper wird wie beim Kneifzangenmechanismus durch kranial und kaudal anliegende Wirbelkörper zerstört

A3/Berstungsbrüche: Der Knochen destruiert („birst“) ganz oder teilweise. Die Hinterkante ist beschädigt. Neurologische Ausfälle können durch eine Protrusion von Wirbelkörperfragmenten in den Spinalkanal entstehen. Das Ausmaß der Keilwirbelbildung bestimmt neben der Bedrängung des Spinalkanals die Operationsindikation. Berstungsbrüche werden weiter eingeteilt in:

- Ø A3.1 / Inkomplette Fraktur: kranial, lateral oder kaudal
- Ø A3.2 / Berstungsspaltfraktur: kranial, lateral oder kaudal
- Ø A3.3 / komplette Berstungsfraktur: Pincer-, Flexions- oder axialer Bruch

### **Distraktionsfrakturen vom Typ B**

Die Frakturen vom Typ B beruhen auf einem Flexions- bzw. Distraktions- oder einem Hyperextensionsmechanismus. Obwohl meist die vordere und hintere Säule betroffen sind, und somit von einem instabilen Bruch gesprochen wird, können alle drei Säulen verletzt werden. Neurologische Symptome liegen oft vor, sodass eine Operation indiziert ist.



*Abb. 5: Magerl-Einteilung: Typ B-Verletzung (mit freundlicher Genehmigung von Jürgen Harms (2007b), Ethianum Klinikum Heidelberg)*

Distraktionsfrakturen lassen sich weiter unterteilen in B1/dorso-ligamentäre Frakturen, B2/dorso-ossäre Frakturen und B3/disko-ligamentäre Frakturen.

B1/dorso-ligamentäre Zerreißung: Ursächlich liegt ein Flexionsmechanismus vor. Hauptsächlich werden die dorsalen Bänder zerrissen, jedoch können auch die Facettengelenke beschädigt sein. B1-Brüche werden weiter eingeteilt in:

- Ø B1.1 / Flexionsdistraktion mit disko-ligamentärer Instabilität

Ø B1.2 / Flexionsdistraktion mit Kompression des Wirbelkörpers (Typ-A-Bruch)

B2/dorso-ossäre Zerreißung: Auch hier liegt ursächlich ein Flexionsmechanismus vor. Der Wirbelbogen wird zerrissen. B2-Brüche werden weiter eingeteilt in:

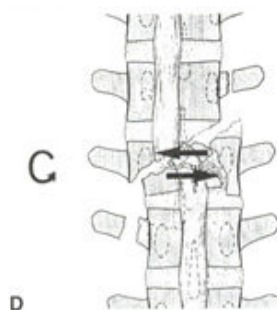
- Ø B2.1 / Chance-Fraktur: Horizontale Fraktur durch knöcherne Anteile des gesamten Wirbels (Sicherheitsgurtfraktur)
- Ø B2.2 / Flexionsspondylolyse mit Bandscheibenzerreiung
- Ø B2.3 / Flexionsspondylolyse mit Wirbelkörperkompression

B3/ventrale Zerreißung durch die Bandscheibe: Ursächlich liegt ein Hyperextensionsmechanismus vor. Die Bandscheibe wird zerrissen. B3-Brüche sind selten. B3-Brüche werden weiter eingeteilt in:

- Ø B3.1 / Hyperextensionssubluxation: Facettengelenke sind subluxiert
- Ø B3.2 / Hyperextensionsspondylolyse: Spaltbildung in der Pars interarticularis
- Ø B3.3 / Posteriore Luxation: Gravierende Wirbelsäulenverletzung durch Spinalnervenkompensation, die oft mit einer Querschnittssymptomatik vergesellschaftet ist

**Rotationsfrakturen vom Typ C**

Frakturen vom Typ C beruhen auf einem Rotationsmechanismus. Es handelt sich um die instabilsten und kompliziertesten aller Wirbelsäulenverletzungen. Sie treten oft mit Typ A oder B auf. Obwohl meist die vordere und hintere Säule betroffen sind, können alle drei Säulen verletzt werden. Typ-C-Frakturen erscheinen selten, dann aber oft mit schweren neurologischen Ausfllen. Diese können bis zum kompletten Querschnitt reichen. Operationen sind deswegen absolut indiziert.



*Abb. 6: Magerl-Einteilung: Typ-C-Verletzung (mit freundlicher Genehmigung von Jürgen Harms (2007b), Ethianum Klinikum Heidelberg)*

Rotationsfrakturen lassen sich weiter unterteilen in C1 / mit Wirbelkörperkompression, C2 / mit Distraction und C3 / Rotationsscherbrüche.

C1 / mit Wirbelkörperkompression: Typ-C- (Rotation) mit einer Typ-A-Fraktur (Impaktion, Spaltentstehung, Berstung) kombiniert:

- Ø C1.1 / Rotationskeilbruch
- Ø C1.2 / Rotationsspaltbruch
- Ø C1.3 / Rotationsberstungsbruch

C2 / mit Distraction: Typ-C- (Rotation) mit einer Typ-B-Fraktur (Flexion, Distraction, Hyperextension) kombiniert:

- Ø C2.1 / Rotationsverletzung mit Flexionsdistraction durch Gelenke/ Fortsätze
- Ø C2.2 / Rotationsverletzung mit Chance-Fraktur
- Ø C2.3 / Rotationsverletzung mit Hyperextensionsscherverletzung

C3 / Rotationsscherbrüche: Typ-C- (Rotation) mit einer Abscherfraktur kombiniert:

- Ø C3.1 / Slice-Fraktur
- Ø C3.2 / Rotationsschrägbruch

Neuere Einteilungssysteme wie das TLICS (thoracolumbar injury classification and severity score) von Lee versuchen außer den von Magerl schon eingeschlossenen Kriterien auch klinische Symptome mit einzubeziehen (Lee et al., 2005). Des Weiteren fließt die Beurteilung der posterioren Bänder mit ein.

## 1.6 Therapie

Im Laufe der letzten Jahrzehnte entwickelte sich die Therapie von Wirbelkörperbrüchen konsequent weiter: Von der rein konservativen Methode nach Böhler über die verschiedenen ventralen und dorsalen offenen Stabilisierungsverfahren bis hin zu den minimalinvasiven Techniken, die heutzutage mehr und mehr Verwendung finden (Beck et al., 2008).

Ziel der Behandlung ist die Wiederherstellung anatomischer Strukturen und der neurologischen Funktion. Vorrang haben das subjektive Befinden, die Milderung der Schmerzen bzw.

neurologischen Symptome sowie die Wiedereingliederung in das Arbeits- und Sozialleben (Tscherne & Blauth, 1998). Es werden konservative von operativen Behandlungsweisen unterschieden. Trotz gespaltener Meinung vieler Experten ist die konservative Methode auch heute noch die meist angewendete Therapie bei stabilen und eingeschränkt instabilen Frakturen ohne stärkere Deformitäten (Reinhold et al., 2003). Diese umfasst frühe schmerzabhängige Mobilisierung, gegebenenfalls eine temporäre Ruhigstellung durch ein Korsett und ein Sportverbot für mindestens 3 Monate. Unabdingbar sind radiologische Nachuntersuchungen in bestimmten Zeitabständen, um bei eventuellen Fehlstellungen gezielt eingreifen können (Niethard et al., 2009). Eine eindeutige Operationsindikation besteht nach Müller bei (Müller, 2010):

- einem neurologischen Defizit
- einer Spinalkanalverlegung  $\geq 33\%$
- groben Dislokationen und Instabilitäten
- offenen Rückenmarksverletzungen

Die Herangehensweise ist bei allen Operationen gleich: die Reposition des gebrochenen Wirbelkörpers mit gegebenenfalls Entlastung des Spinalkanals, um neurologischen Symptomen entgegenzuwirken. Anschließend wird der aufgerichtete Knochen durch die jeweilige Methode so fixiert, dass während des Heilungsprozesses wenig an Höhe verloren geht. Der Retentionsverlust und die Bewegungen sollen durch das Implantat so gering wie möglich gehalten werden, um eine optimale Heilung zu gewährleisten. Favorisiert werden Implantate, die das verletzte Segment nur kurzstreckig überbrücken und somit die höchste Widerstandsfähigkeit gewährleisten (Niethard et al., 2009). Wie bei der konservativen Methode sind klinische und radiologische Nachuntersuchungen erforderlich, um bei eventuell auftretenden Komplikationen entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten zu können.

Es werden drei verschiedene Operationsverfahren unterschieden: die dorsale, die ventrale und die kombinierte dorsoventrale Versorgung (Niethard et al., 2009). Dorsale Stabilisierungsverfahren werden bei Wirbelkörperfrakturen eingesetzt, die nach der Reposition ohne signifikante Fehlstellung ausheilen können. Wenn der Wirbelkörper so stark destruiert ist, dass keine knöcherne Ausheilung eintreten kann, oder die Reposition nicht über alleinige dorsale Fixierung gehalten werden kann, dann muss eine ventrale Stabilisierung zum Erhalt der Höhe des Segments erfolgen. In Ausnahmefällen kann eine Fixierung in Fehlstellung erfolgen, zum Beispiel, wenn der Allgemeinzustand des Patienten keinen größeren Eingriff erlaubt. Einige

Autoren belegen, dass ein kombiniertes Vorgehen bei Magerl-B- und -C-Frakturen sinnvoll ist, um den sekundären Retentionsverlust gering zu halten (Gonschorek et al., 2013a).

Durch konsequente Weiterentwicklung sind heute dorsale minimalinvasive Eingriffe möglich, mit denen sich auch kompliziertere Wirbelbrüche versorgen lassen. Die meisten Magerl-C-Brüche sind bis zum heutigen Tag aber noch von dieser Methode ausgeschlossen (Gonschorek et al., 2013a).

Bei Wirbelsäulenverletzungen muss wie bei allen medizinischen Eingriffen ein umsichtiges Behandlungskonzept erstellt werden, das auf den Einzelnen eingeht, seine Verhältnisse berücksichtigt und langfristig auf das Wohl des Patienten zielt. Die komplexe Anatomie und die mit ihr einhergehende Gefahr bleibender Schäden bei Traumen erfordern einen durchdachten Therapieplan. In den letzten Jahren wurden dafür spezielle Wirbelsäulenzentren eingerichtet.

## **1.7 Überblick über gängige Implantate und Designs**

Um den Wirbelkörperbruch aufzurichten und anschließend zu stabilisieren finden verschiedene Implantate Verwendung, die sich grundsätzlich in ihrem Aufbau und ihrer Funktion ähneln. Folgende Komponenten, die meist aus Titan bestehen, sind Bestandteil eines Implantats:

- 4 Pedikelschrauben
- 4 Blöcke (OS) bzw. Verschlusschrauben (MIS)
- 2 Stäbe

In Bezug auf die unterschiedlichen Operationstechniken unterscheiden sich die Implantate jedoch grundlegend. Die offene Technik erlaubt eine vollkommene Sicht auf den gebrochenen Wirbelkörper, dafür müssen vorher jedoch darüber liegende Strukturen vollständig abgetragen werden. Das Zugangstrauma bei der minimalinvasiven Methode ist kleiner: Es reichen mehrere kleine Hautschnitte aus, über die die Implantat-Bestandteile in die Wirbelkörper durch die darüber liegenden Strukturen geschoben werden. Eine direkte Sicht auf das Operationsfeld besteht bei MIS nicht, die korrekte Lage der Schrauben wird über ein CT intraoperativ bestätigt.

Es werden mono- von polyaxialen Pedikelschrauben unterschieden. Bei OS sind die Schrauben immer monoaxial. Bei MIS werden mono- und polyaxialen Schrauben verwendet. Beim

monoaxialen System beträgt der Winkel zwischen dem Längsträger und den Schrauben stets 90°. Monoaxiale Schrauben, die sowohl bei MIS, als auch bei OS eingesetzt werden, sind von außen mit einem Repositionsinstrumentarium bedienbar. Die Einstellung des gebrochenen Wirbelkörper in die gewünschte Position erfolgt durch direkte Manipulation am Schraubenkopf mit dem Instrumentarium. Dies ist mit polyaxialen Schrauben nicht möglich, da sie keine starre Einheit bilden. Stattdessen weisen sie ein Gelenk zwischen Schraubenkopf und -schaft auf. Dies erlaubt ein polyaxiales Positionieren der Pedikelschrauben. Durch die Flexibilität, die polyaxiale Schrauben zwischen dem Schraubenschaft und -kopf aufweisen, besteht während der Operation nicht die Möglichkeit einer Reposition. Lediglich der Schraubenkopf würde sich beim Korrekturversuch bewegen. Der Schaft, der die eigentliche Einstellung vollzieht, bleibt davon unberührt. Somit ist eine Reposition bei polyaxialen Schrauben nur durch Lagerungsmaßnahmen möglich. Die Schrauben fixieren die Fraktur, wie sie gelagert ist. Polyaxiale Schrauben lassen sich besser entsprechend der Anatomie des Pedikels mit dem Längsstab verbinden. Sie sind einfacher in der Bedienung, insbesondere um der natürlichen Lordose Rechnung zu tragen. Aufgrund ihrer Flexibilität zwischen Schraubenkopf und -schaft war anzunehmen, dass sich bei polyaxialen Schrauben die Reposition schwieriger gestaltet bzw. sie eine geringere Stabilität hinsichtlich der Retention aufweisen als monoaxiale Schrauben. Die Klärung dieser Fragen ist Teil der vorliegenden Arbeit.

## **1.8 Perioperative Komplikationen**

Wie bei jeder Intervention können Probleme unterschiedlicher Art während oder nach der Operation auftreten. Zu den häufigsten Komplikationen zählen Wundinfektionen, postoperative Nachblutungen und Wundhämatome. Diese können durch eine frühzeitige Revision meist zügig behoben werden. Den allgemeinen Operationsindikationen gehören intraoperative Blutungen, Thrombosen und Verletzungen der Nerven an. Spezifische Komplikationen sind Reaktionen auf Implantate oder auf die Operationstechnik zurückzuführende Probleme. Späte Komplikationen entstehen durch Lockerungen oder Brüche. Multiple Vorerkrankungen, Polytraumen und Immunsuppression sind Faktoren, die das Komplikationsrisiko erhöhen. Iatrogene Ursachen, wie zum Beispiel Infektionen durch Keimverschleppung wegen mangelnden Hygienemanagements, sind durch sorgfältiges bzw. behutsames Arbeiten und gute interdisziplinäre Kommunikation zu unterbinden. Spezielle Komplikationen der beiden vor-



gestellten Verfahren treten bei Fehllagen der Schrauben auf. Von Bedeutung sind deswegen regelmäßige Nachuntersuchungen in geringen Abständen und gegebenenfalls weitere Interventionen. Bei ausbleibender Klinik können Schraubenfehllagen toleriert werden, sofern sie das Behandlungsergebnis nicht gefährden.

Nach der Operation sind eine gute Physiotherapie und Rückenschule wichtig. Der Patient soll zügig mit extra konzipierten Übungen mobilisiert werden und Rückenmuskulatur aufbauen. Die Anpassung der Rehabilitation an den Schmerzzustand ist notwendig, um Patienten nicht zu über- oder unterfordern. Ein Korsett oder ein Stützverband wird nicht empfohlen. Klinische und radiologische Nachuntersuchungen werden in der Regel 6 Wochen sowie 3, 6 und 12 Monate postoperativ durchgeführt. Ziel ist es, Implantatermüdungen und andere eventuell auftretende Probleme frühzeitig zu diagnostizieren. Neben objektiven Parametern wie dem Retentionsverlust des Grundplatten-Deckplattenwinkels spielen vor allem das subjektive Empfinden, neurologische Defizite und die Mobilität eine große Rolle. Zur Erstellung eines weiteren Therapiekonzepts sollten alle Aspekte mit einfließen.

Eine Implantatentfernung wird generell nach 9-12 Monaten empfohlen. Wie in der Medizin üblich, handelt es sich nur um einen Richtwert, der im einzelnen Fall genau abzuwägen ist. Einige Patienten entscheiden sich bewusst gegen eine Entnahme, bei anderen erfolgt sie schon nach einigen Monaten.

## **1.9 Zielsetzung der Studie**

Rund ein Drittel aller in der Unfallchirurgie versorgten Patienten sind älter als 70 Jahre. Besonders im operativen Bereich ist für diese Gruppe ein schonendes Therapiekonzept essentiell (Prokop et al., 2012). Durch den immer weiter forcierten Fortschritt geht der Trend in der Versorgung von Wirbelsäulenverletzungen im operativen Bereich mehr und mehr von der offenen zur minimalinvasiven Chirurgie.

Diese Studie vergleicht röntgenologische und klinische Verlaufsparemeter nach minimalinvasiver und offener dorsaler Versorgung thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen. Gegenübergestellt wurden die Ergebnisse nach der klassischen offenen Operation unter Einsatz des Reco-Systems der Firma Medizin Technik Mauk (open surgery, OS) und dem minimalinvasiven

Eingriff mit dem Longitude-System der Firma Medtronic (minimalinvasive surgery, MIS). Einschlusskriterien waren wie folgt:

- In der Bildgebung bewiesene thorakolumbale Wirbelkörperfraktur (Th9 bis L3) ohne neurologische Ausfälle
- Operative Versorgung mit MIS oder OS im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel, Abteilung Unfallchirurgie (Traumatologie)
- Patientenalter über 15 Jahre

Ziel ist es, Stärken und Schwächen beider Verfahren kritisch zu betrachten und anhand einer Diskussion zu analysieren, welches sich kurz- und langfristig als überlegen erweist und daher besser eignet. Als zu vergleichender Hauptparameter wurden der Repositionsgewinn durch die Operation und die Retentionsverluste der Grundplatten-Deckplattenwinkel (GDW) (in °) nach 6 Wochen, 3, 6, und 12 Monaten genommen. Des Weiteren wurden folgende sekundäre Zielgrößen ausgewiesen:

- Postoperativer Krankenhausaufenthalt in Tagen (d)
- Operationsdauer in Minuten (min)
- Anzahl der Revisionseingriffe

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Erhebung der Patientendaten**

Die Studie wurde retrospektiv durchgeführt. Die Daten wurden aus digitalisierten archivierten Patientenakten (Operationsberichten, Aufnahme- und Dokumentationsbögen sowie Entlassungsbriefen) erhoben. Die Datenerhebung dauerte 4 Monate. Folgende Informationen wurden entnommen:

- Präoperative Daten: Name, Alter, Geschlecht, Unfallursache, Traumaart, Frakturlokalisierung, Frakturklassifikation, Begleitverletzungen, Dauer vom Unfallzeitpunkt bis zur Operation
- Daten zur Operation: Implantattyp, Dauer, Anzahl der Segmente
- Postoperative Daten: Krankenhausaufenthaltsdauer, Komplikationen, Zeitpunkt der Implantatentfernung, Implantatverweildauer, eventuelle Nachoperationen

Ausschließlich Oberärzte der Unfallchirurgie nahmen die Einteilung nach Magerl vor.

Die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel genehmigte die Studie am 02.05.2013 unter dem Aktenzeichen D450/13.

### **2.2 Auswertung der perioperativen Daten**

Die Durchschnittswerte wurden für den Vergleich zwischen den beiden Verfahren in Bezug auf den postoperativen Krankenhausaufenthalt bzw. die Operationsdauer errechnet. Der absolute Wert wurde bei der Gegenüberstellung der Anzahl der Nachoperationen verwendet.

### **2.3 Radiologische Auswertung**

Die prä- und postoperativen Röntgen-, CT- und MRT-Bilder wurden in dem Computerprogramm IMPAX EE (Agfa HealthCare GmbH) gesammelt und ausgewertet. Folgende Zeitpunkte wurden festgelegt:

- Präoperativ
- Direkt postoperativ
- 6 Wochen, 3, 6 und 12 Monate postoperativ.

Mit IMPAX EE wurde der Grundplatten-Deckplattenwinkel (GDW) in Grad (°) in der Sagittalebene vermessen. Dieser wurde in den prä- und postoperativen Bildern anhand der Segmenteinteilung des jeweiligen Implantats eingeteilt und bestimmt:

- Monosegmental: Der Winkel zwischen der Deckplatte des kranial vom betroffenen liegenden Wirbelkörpers mit der Grundplatte des betroffenen Wirbelkörpers.
- Bisegmental: Der Winkel zwischen der Grundplatte des kranial vom betroffenen liegenden Wirbelkörpers mit der Deckplatte des kaudal vom betroffenen liegenden Wirbelkörpers.

Ein negativer GDW berücksichtigt die Kyphose, ein positiver GDW definiert die Lordose. Während der Operation erfolgte die Aufrichtung der frakturierten Wirbelkörper mit anschließender Fixierung der Reposition. Die Grundplatten-Deckplattenwinkel der betroffenen Wirbel wurden vor sowie direkt nach der Operation in den radiologischen Bildern (Röntgen, CT, MRT) gemessen. Der Repositionsgewinn (in Grad) wurde durch die Differenz der beiden Winkel berechnet. Aus allen vorhandenen Winkeln wurde der Mittelwert berechnet.

Die Patienten wurden im Laufe des Jahres nach der Operation in regelmäßigen Abständen zur klinischen und radiologischen Nachuntersuchung einbestellt. Die Zeitintervalle waren wie folgt: 6 Wochen, 3, 6 und 12 Monate postoperativ. In den radiologischen Bildern wurde der GDW des betroffenen Segments zu den jeweiligen Zeitpunkten gemessen. Dieser Wert wurde mit dem direkt postoperativen Wert des Patienten verglichen. Durch Subtrahieren des GDW direkt postoperativ vom GDW der Nachuntersuchung wurde berechnet, wie viel Grad die Fixierung im Laufe der Zeit zu dem jeweiligen Stichtag verloren hatte. Aus den vorhandenen Retentionsverlusten eines bestimmten Zeitraums wurde der Mittelwert berechnet. Die beiden Durchschnittswerte zu bestimmten Zeitpunkten wurden miteinander verglichen. Es wurde geklärt, welches der Verfahren einen geringeren Retentionsverlust aufweist und die Reposition stabiler fixiert. Folgende GDW wurden gegenübergestellt:

- MIS vs. OS
- MIS polyaxiale vs. MIS monoaxiale Schrauben

- MIS polyaxiale Schrauben vs. OS und MIS monoaxiale Schrauben vs. OS bei bisegmental stabilisierten Magerl-A3.1-Frakturen

Anhand eines objektiven und unabhängigen Kriteriums wurde der Unterschied zwischen beiden Verfahren während des Genesungsprozesses aufgezeigt. Beachtet werden muss, dass die meisten präoperativen Bilder nur im Liegen zur Verfügung standen, wohingegen alle postoperativen Aufnahmen stehend festgehalten wurden. Dadurch kann es zu leichten Winkeldeviationen kommen, die alleine auf einen Positionswechsel zurückzuführen sind.

Bei den Magerl-A3.1-Frakturen handelt es sich um den häufigsten Frakturtyp. Um auszuschließen, dass sich unterschiedliche Frakturtypen auf die Ergebnisse auswirken, konzentrierten wir uns in einer Untergruppe auf Magerl-A3.1-Frakturen, die bisegmental stabilisiert wurden. Die isolierte Betrachtung dieser Gruppe hatte das Ausschließen möglichst vieler Störfaktoren, die ein Ergebnis eventuell beeinflussen, zum Ziel. Somit wurde trotz der verringerten Fallzahl eine Gegenüberstellung zwischen gleichen Brüchen ermöglicht.

## **2.4 Operationsmethoden**

Der Patient wurde in der Intubationsnarkose operiert. Der Aufklärung und Einleitung in Rückenlage durch die Anästhesie folgte der Transport in den Operationssaal.

Zunächst erfolgt eine Aufrichtung des Bruches durch Anwendung verschiedener Lagerungstechniken („geschlossene Reposition“) (Tscherne & Blauth, 1998). Durchgeführt werden der ventrale bzw. dorsale Durchhang und die einfach lordosierende Lagerung. Solche komplexen Techniken werden nur von qualifizierten Unfallchirurgen realisiert. Die Reposition wird durch fahrbare Röntgengeräte bestätigt. Um eine korrekte Stellung der Schrauben nachzuweisen, findet die Durchleuchtung in zwei Ebenen (anterior-posterior und sagittal) während der ganzen Operation Verwendung. Bei der anterior-posterioren Bildgebung sollten sich die Dornfortsätze mittig zwischen den Pedikeln befinden. In einigen Fällen führen die angewendeten Lagerungsmaßnahmen nicht zum gewünschten Erfolg. In diesem Fall kann die Reposition offen über die Pedikelschrauben erfolgen.

Wichtig ist die vorschriftsmäßige Desinfektion und Abdeckung des Operationsgebietes. Diese Studie beschränkt sich auf das offene Reco-Verfahren der Firma Medizin Technik Mauk (OS)

und das minimalinvasive Longitude-Verfahren der Firma Medtronic (MIS). Es handelt sich bei beiden Vorgehensweisen um rein dorsale Stabilisierungen. Ventrale und kombinierte, zweizeitige dorso-ventrale Methoden werden hier nicht mit berücksichtigt.

Das Umlagern in Bauchlage muss vorsichtig en-block erfolgen, um weitere Dislokationen zu vermeiden. Eventuelle Druckschäden werden durch eine Kissenunterpolsterung verhindert. Die Kennzeichnung der Haut an der Stelle des gebrochenen Wirbelkörpers hilft Fehlern vorzubeugen. Ziel aller Verfahren ist die Reposition des frakturierten Wirbels mit anschließender Retention durch den Fixateur interne. Die Fixierung stabilisiert den aufgerichteten Wirbelkörper. Dadurch werden Bewegungen im Segment unterbunden und wird ein optimaler Genesungsprozess garantiert.



*Abb. 7: Patient in Bauchlagerung. Bestimmung des betroffenen Segments anhand radiologischer Bildgebung (eigenes Fotomaterial)*

Der Operateur bestimmt über wie viele Segmente instrumentiert wird. Der Stabilisation erfolgt mono-, bi- oder trisegmental:

- Monosegmental: Das System wird bei kranial impaktierten Frakturen in den gebrochenen und den kranial davon liegenden Wirbel implantiert.
- Bisegmental: Das System überbrückt zwei Bewegungssegmente.
- Trisegmental: Das System überbrückt drei Bewegungssegmente.

### 2.4.1 Offenes Verfahren

Beim offenen Verfahren wurde das Reco-System der Firma Medizin Technik Mauk (MTM) GmbH aus Norderstedt verwendet. Indikationen bestehen bei Frakturen der thorakalen und/oder lumbalen Wirbelsäule (Typ-A-, -B- und -C-Magerl-Klassifikation).

Die Kutis wird an der entsprechenden Stelle über den Dornfortsätzen in einer Flucht inzidiert. Es folgt die Eröffnung der Fascia thoracolumbalis paraspinalis inklusive der Abschiebung der dreischichtigen Muskulatur (Tscherne & Blauth, 1998). Diese besteht aus der:

- oberflächlichen Schicht mit den Mm. trapezius, latissimus dorsi und rhomboideus major bzw. minor
- mittleren Schicht mit den Mm. serratus posterior superior und inferior
- tiefen Schicht mit den M. erector spinae, Mm. semispinalis, multifidi und rotatores

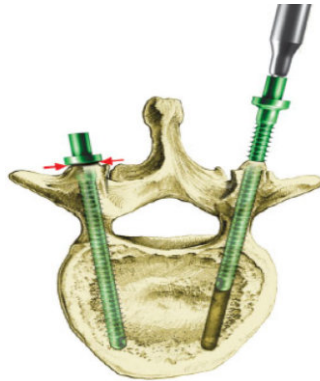
Die eigentliche Operation am Knochen wird durch Anwendung verschiedener Sperrer ermöglicht. Diese halten die Muskulatur zurück. Der Pedikel wird mit dem Pfriem an der Schraubeneintrittsstelle geprägt.



*Abb. 8: Eröffnen des Pedikels mit einem Pfriem (mit freundlicher Genehmigung von Medizin Technik Mauk (2012))*

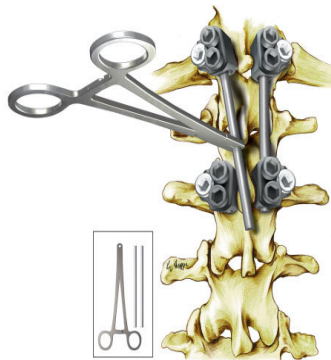
Nach erneuter anterior-posteriorer Bildgebung wird der Pedikel mit dem Pfriem eröffnet und bis ein ausreichender Durchmesser erreicht ist, vorgeschoben. Mit Hilfe der präoperativen CT wird die Größe der zu verwendenden Schrauben festgelegt. Die Schraubenlänge sollte mindestens zwei Drittel des Wirbelkörpers durchdringen. Die stumpfe Ahle, die einen etwas kleineren Durchmesser als die gewählte Schraube hat, wird benutzt, um einen Kanal durch den Wirbelkörper vorzubereiten. Die korrekte Länge des Schraubengangs wird mit der Tiefen-

messlehre ermittelt. Die selbstschneidenden Schrauben werden bis zum Anschlag mit dem Universal-Schraubendreher 3,5 mm eingedreht.



*Abb. 9: Eindrehen der Pedikelschrauben mit einem Schraubendreher (mit freundlicher Genehmigung von Medizin Technik Mauk (2012))*

Nach Bestätigung der korrekten Lage aller Schrauben werden die Repositionsblöcke mit den gelockerten Repositionsschrauben auf die zylindrischen Enden gesteckt und mit Sicherungsschrauben montiert. Die einzelnen Schrauben auf einer Seite werden mit der Stabfazzange durch einen von der Spannweite passenden Stab miteinander verbunden.

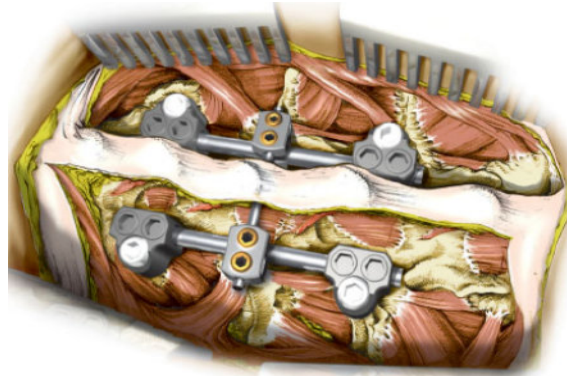


*Abb. 10: Verbinden der Pedikelschrauben durch einen Stab (mit freundlicher Genehmigung von Medizin Technik Mauk (2012))*

Der betroffene Wirbelkörper kann durch Angleichen der Repositionsschrauben aufgerichtet werden, falls dies nicht durch Lagerungsmaßnahmen präoperativ erfolgte. Die Pedikelschrauben werden bis zum angestrebten Winkel auseinandergestreckt. Einstellungen bis zu 30° sind möglich. Nach der Justierung wird durch Fixieren aller Schrauben endgültige Stabilität erreicht. In Ausnahmefällen empfiehlt es sich, das System durch einen Querstabilisator



sator extra abzusichern. Als Indikationen gelten unter anderem Magerl-B- und -C-Verletzungen sowie Brüche an der hinteren Säule.



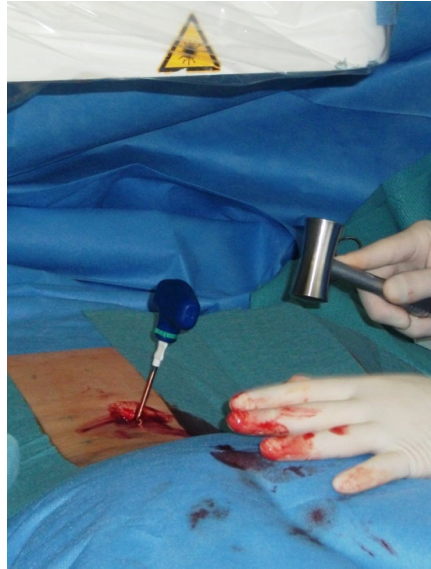
*Abb. 11: Reco-Implantat (inklusive eines Querstabilisators) aus Sicht des Operateurs (mit freundlicher Genehmigung von Medizin Technik Mauk (2012))*

Der Wundverschluss erfolgt dreischichtig: Die Fascia thorakolumbalis und die Muskelfaszien werden an die intra- und supraspinösen Bänder angebracht (Tscherne & Blauth, 1998). Die Subkutanfaszie wird darauf angefügt. Durch Einzelkopfnähte wird die Haut verschlossen.

#### **2.4.2 Minimalinvasives Verfahren**

Das minimalinvasive Verfahren wird durch die Firma Medtronic aus Minnesota, USA, unter dem Namen CD HORIZON LONGITUDE vertrieben. Es wurde erstmals im September 2007 vorgestellt.

In der anterior-posterioren Bildgebung wird die korrekte Position über dem Pedikel mit einer Punktionsnadel bestätigt. Die Haut und Faszie wird an der entsprechenden Lokalisation circa 1,8 cm eröffnet. Bei den folgenden Schritten ist die ständige radiologische Kontrolle von Bedeutung, da im Gegensatz zum offenen Verfahren keine direkte Sicht auf die anatomischen Strukturen besteht. Eine NIM-(Neural-Integrity-Monitoring)PAK-(Pedikel-Access-Kit) Nadel wird in den Pedikel eingeschoben.



*Abb. 12: Einschieben der NIM-PAK-Nadel in den Pedikel (eigenes Fotomaterial)*

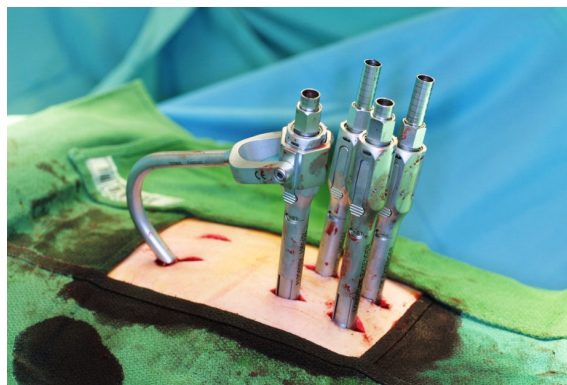
Der Führungsdraht wird mit einer Kanüle vorsichtig eingeführt und durchdringt den Wirbelkörper zu mindestens zwei Dritteln. Nach dem Herausziehen der Kanüle verbleibt einzig der Führungsdraht in situ. Diese Maßnahmen werden bei allen zu eröffnenden Pedikeln wiederholt. Die Aufdehnung der Faszie und der Muskeln erfolgt durch Verwendung dreistufiger Dilatatoren, die ein schonendes Einbringen der Gewindeschneider ermöglichen. Die geforderte Tiefe des Gewindekanals wird durch die Tiefenmarkierung am Dilatator verifiziert.



*Abb. 13: Bohrung des Gewindekanals mit schonender Aufdehnung der Muskeln und Faszie durch einen Dilatator (eigenes Fotomaterial)*

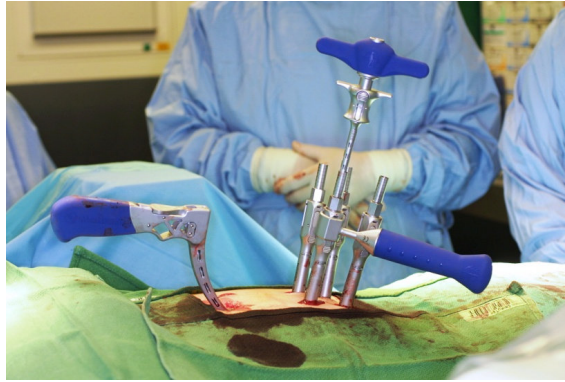
Der Gewindeschneider und der Dilator werden entnommen. Die passende Schraube wird mit dem Extender und dem Schraubendreher zusammengefügt. Mit dem Führungsdraht wird die Konstruktion in den Pedikel positioniert und die Schraube bis zum Anschlag in ihr Gewinde gedreht. Der Führungsdraht wird nun entfernt. Diese Maßnahmen werden auch bei den restlichen Pedikeln ausgeführt.

Die verschiedenen Extender auf einer Seite werden in einer Flucht ausgerichtet. Eine Stabschablone auf der Haut hilft die richtige Größe und Silhouette abzubilden. Der Stab wird mittels einer Zange getreu dem Muster zurechtgebogen. Eine genaue Auswahl des Eingangswinkels und der Eingangsstelle ist von entscheidender Bedeutung, um die vorgesehenen Löcher der Extender mit dem Stab richtig zu treffen. Der Winkel und die Stelle werden mit einem speziell konfigurierten Fühler, der am kranialsten liegenden Extender angebracht wird, festgelegt. Dort wird ein Einschnitt von circa einem Zentimeter vorgenommen.



*Abb. 14: Bestimmung des Eingangswinkels und der Eingangsstelle mit einem Fühler  
(eigenes Fotomaterial)*

Der Stab wird subkutan mit einem Halter eingeschoben und in das Loch des am kranialsten liegenden Extenders eingefügt. Nach erneuter Kontrolle der Lage wird er durch die restlichen Extender geschoben. Durch radiologische Bildgebung kann überprüft werden, ob der Stab durch die vorgesehenen Öffnungen eingeführt wurde. Am oberen Ende des Extenders wird eine Ratsche montiert. Damit wird der Stab schrittweise in die Pedikelschraubenköpfe geführt. Bei allen Extendern wird die endgültige Position der Längsträger im Schraubenkopf mit Verschlusschrauben verblockt. Um ein ausreichendes Drehmoment erzeugen zu können, wird ein Gegenhalter verwendet.



*Abb. 15: Festziehen der Extender und der Verschlusschrauben mit Hilfe eines Gegenhalters (eigenes Fotomaterial)*

Die Verschlusschrauben werden so weit festgezogen, bis sie abbrechen. Die Halter werden entnommen. Die Extender werden nacheinander mit einem Schraubenschlüssel herausgedreht. Der Wundverschluss erfolgt durch eine Faszien-, Subkutan- und Hautnaht.



*Abb. 16: Versorgung der Schnitte durch Hautnähte (eigenes Fotomaterial)*

## 2.5 Statistik

Die aus Patientenakten entnommenen Daten und gemessenen Winkel wurden in eine Excel-Tabelle übertragen und anhand beider Verfahren in unterschiedliche Parameter unterteilt. Vom Institut für Medizinische Informatik und Statistik, Universität Kiel (Direktor Prof. Dr. rer. nat. Michael Krawczak) wurden die Informationen anonymisiert in das R-Statistikprogramm (<http://www.R-project.org/>) eingetragen und die Ergebnisse ausgewertet.

Bei den ermittelten Daten handelt es sich um die Durchschnittswerte  $\pm$  der Standardabweichung.

Der Wilcoxon-Rang-Summentest wurde verwendet für den Vergleich von

- Grundplatten-Deckplattenwinkel
- Postoperativem Krankenhausaufenthalt
- Operationsdauer

Der Fisher-Exact-Test wurde benutzt für den Vergleich der Gesamtanzahl der Revisionseingriffe und um herauszufinden, ob das Verfahren abhängig vom Geschlecht ist.

Bei einem Konfidenzintervall von 95 % wurde 0,05 als Grenze für den p-Wert (Signifikanzniveau) definiert.

Die Box- und Whisker Plots wurden mit GraphPadPrism, die Kuchendiagramme mit Excel erstellt.

### **3 Ergebnisse**

#### **3.1 Patientenkollektiv**

In der unfallchirurgischen Abteilung (Traumatologie) des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Campus Kiel wurden im Zeitraum vom 20.12.2006 bis zum 14.08.2013 insgesamt 104 Patienten mit einem Fixateur interne operativ aufgrund einer Wirbelsäulenverletzung behandelt, die unter die Einschlusskriterien fielen. Davon wurden 46 (Frauen = 17, Männer = 29) Patienten mit einem offenen Reco- und 58 (Frauen = 30, Männer = 28) Patienten mit einem minimalinvasiven Longitude-Verfahren versorgt. Als Einschlusskriterien galten:

- In der Bildgebung bewiesene thorakolumbale Wirbelkörperfraktur (Th9 bis L3) ohne neurologische Ausfälle
- Operative Versorgung mit MIS oder OS im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel, Abteilung Unfallchirurgie (Traumatologie)
- Patientenalter über 15 Jahre

#### **Alter**

Der Altersmedian lag bei MIS mit  $50,5 \pm 13,95$  Jahren etwas höher als bei OS mit  $46,52 \pm 16,91$  Jahren. Der jüngste Patient war 14 (MIS) bzw. 15 (OS), der älteste 78 (MIS) bzw. 83 (OS) Jahre alt. Dem fünften und sechsten Lebensjahrzehnt wurden die meisten Patienten zugeordnet.

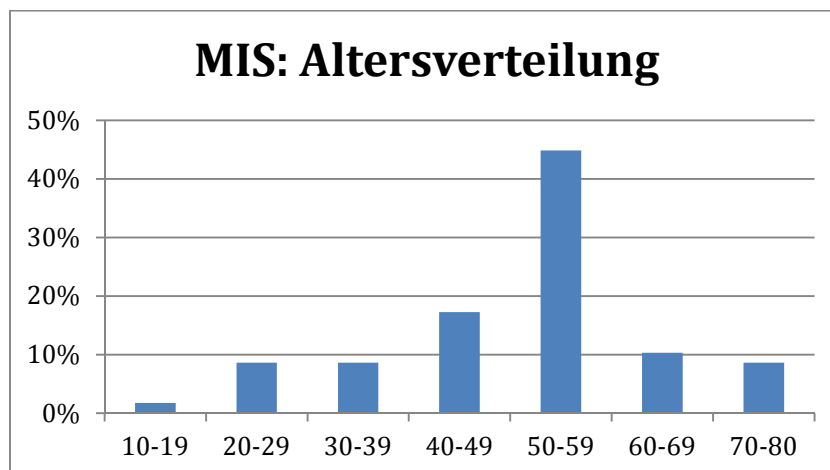


Abb. 17: MIS: Altersverteilung nach Lebensjahrzehnten in %

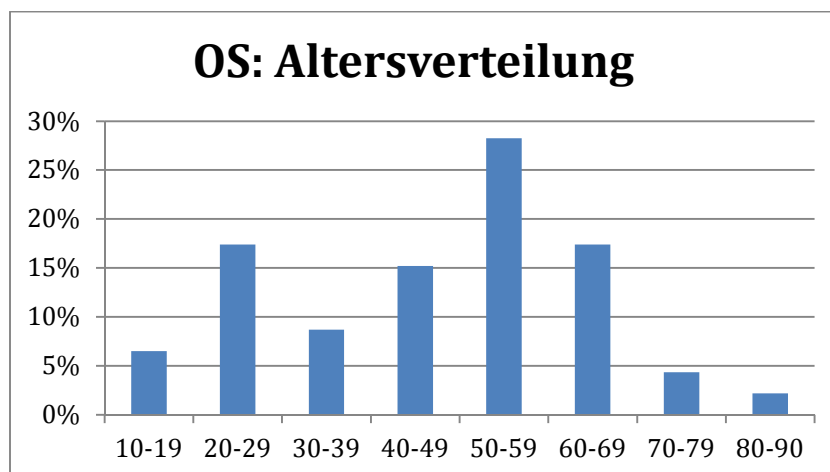


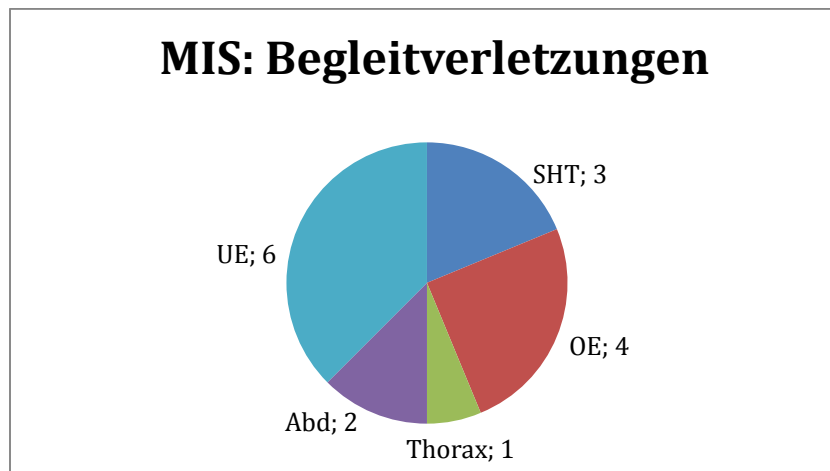
Abb. 18: OS: Altersverteilung nach Lebensjahrzehnten in %

### Ursache und Begleitverletzungen

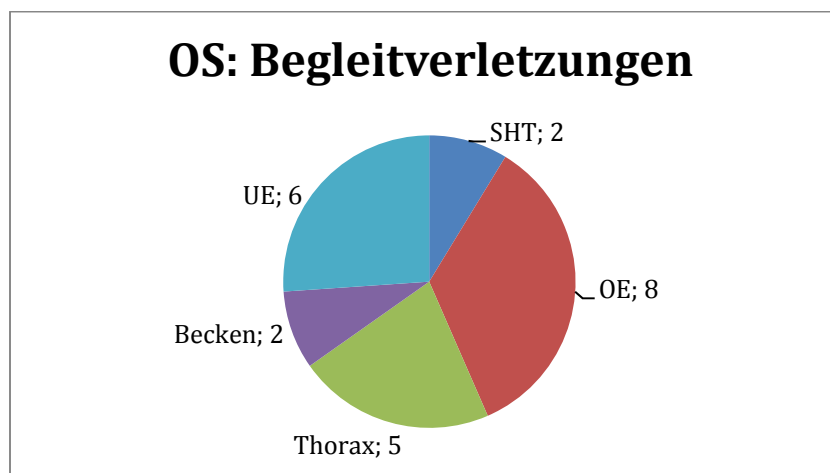
83 % der mit MIS und 82 % der mit OS aufgerichteten Patienten gaben einen Sturz als ausschlaggebenden Grund des Klinikaufenthalts an. Verkehrsunfälle (Motorrad, PKW, Fahrrad) waren beim Rest der Patienten ursächlich für die Beschwerden. Eine pathologische Fraktur wurde mit MIS behandelt.

28 % der mit MIS und genau die Hälfte der mit OS versorgten Patienten erlitten schwerwiegende therapiebedürftige Begleitverletzungen. Dazu zählen Verletzungen der unteren Extremität (UE), der oberen Extremität (OE), des Abdomens (Abd), des Beckens, des Thorax und

Schädel-Hirn-Traumen (SHT). Die restlichen Fälle wurden isoliert an der Wirbelsäule therapiert. Größtenteils waren die obere und untere Extremität betroffen (MIS: 63 %, OS: 61 %).



*Abb. 19: MIS: Verteilung der Begleitverletzungen in absoluten Zahlen bei polytraumatisierten Patienten*



*Abb. 20: OS: Verteilung der Begleitverletzungen in absoluten Zahlen bei polytraumatisierten Patienten*



## Lokalisation der Fraktur

Die Wirbel Th12 und L1 waren in mehr als der Hälfte der Fälle frakturiert (MIS: 62 %, OS: 63 %), gefolgt von L2 (MIS: 17 %, OS: 22 %). Bei der Beurteilung der Lokalisation und der Klassifikation wurde jeweils nur der am meisten geschädigte Wirbel berücksichtigt.

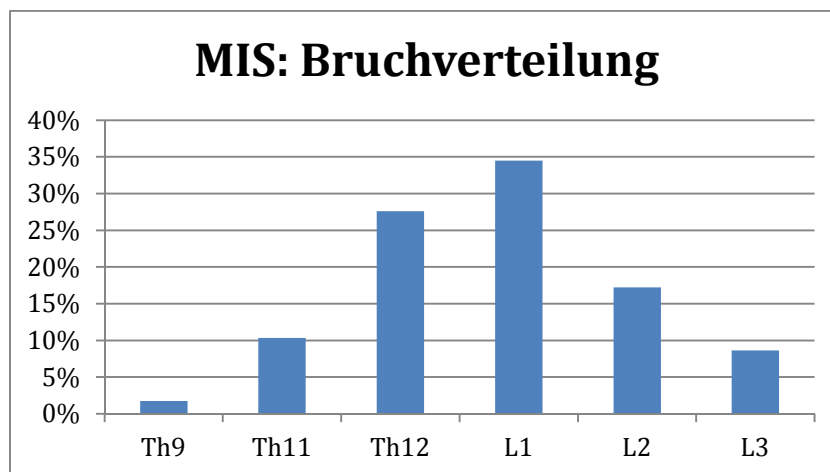


Abb. 21: MIS: Bruchverteilung im thorakolumbalen Segment in %

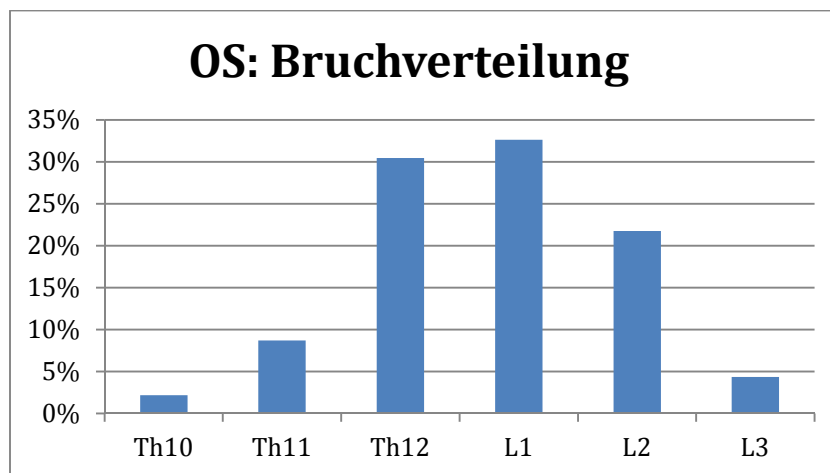


Abb. 22: OS: Bruchverteilung im thorakolumbalen Segment in %

## Klassifikation der Fraktur

Die Frakturen wurden nach der Magerl-Klassifikation systematisch eingestuft und anhand der vorliegenden präoperativen Röntgen-, CT- und MRT-Bilder ausgewertet (Magerl et al., 1994). Am häufigsten lag eine A3.1 Verletzung (inkomplette Berstungsfraktur) (MIS: 69 %, OS: 37 %) vor. Typ B (Flexions-Distraktionsfrakturen) mit 2 % (MIS) bzw. 6 % (OS) und Typ C (Rotationsfrakturen) mit 2 % (OS) waren insgesamt selten anzutreffen.

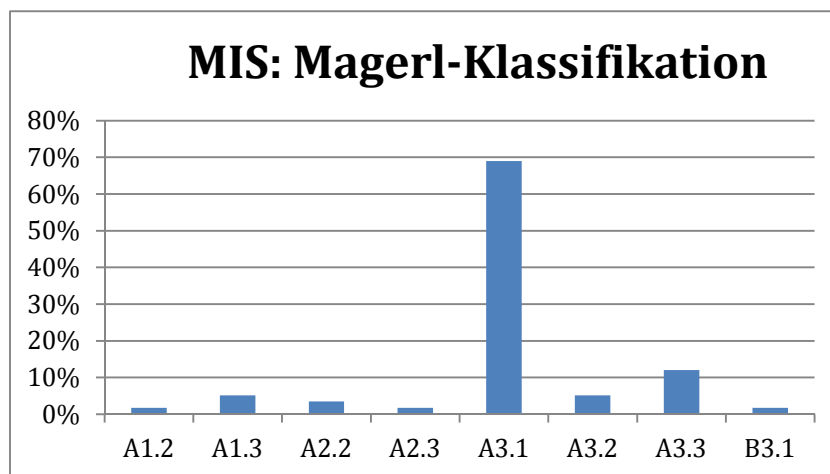


Abb. 23: MIS: Verteilung der Frakturtypen nach der Magerl-Klassifikation in %

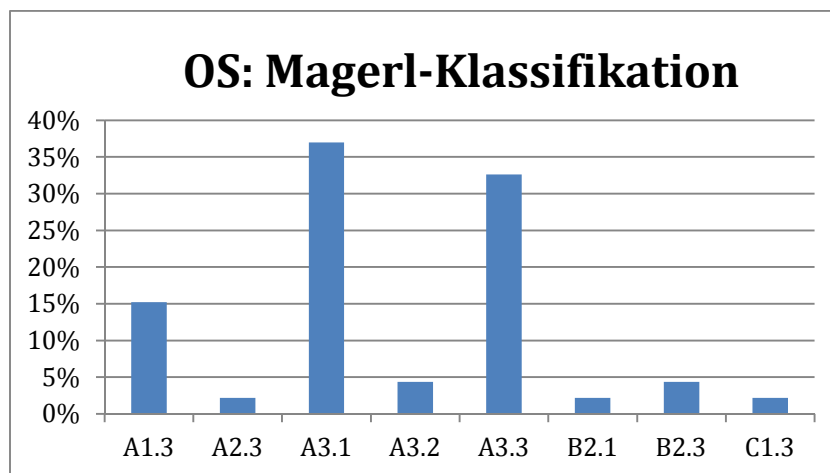


Abb. 24: OS: Verteilung der Frakturtypen nach der Magerl-Klassifikation in %

## Operative Therapie

Es wurden 46 Patienten mit dem offenen Reco-Verfahren (Firma MTM) und 58 Patienten mit dem minimalinvasiven Longitude-Verfahren (Firma Medtronic) stabilisiert. Die in die Studie eingeschlossenen Patienten wurden ausnahmslos dorsal versorgt. Vom Unfallzeitpunkt bis zur operativen Versorgung vergingen im Schnitt bei OS  $3,87 \pm 2,85$  Tage, bei MIS  $3,62 \pm 2,67$  Tage. Die gesamte Krankenhausaufenthaltsdauer, bei der polytraumatisierte Patienten ausgeschlossen wurden, lag bei OS im Median bei  $14,22 \pm 4,38$ , bei MIS hingegen bei  $11,28 \pm 7,36$  Tagen.

Beim minimalinvasiven Verfahren wurden in 76 % polyaxiale und in 24 % monoaxiale Schrauben verwendet.

Bei der dorsalen Stabilisierung der Bewegungssegmente wird in mono-, bi- und trisegmental unterteilt. Die bisegmentale Implantierung wurde überwiegend gewählt (MIS = 84 %, OS = 83 %), gefolgt von der monosegmentalen Stabilisierung mit 14 % (MIS) und 13 % (OS). Trisegmental wird nur bei den selteneren multiplen instabilen Frakturen stabilisiert.

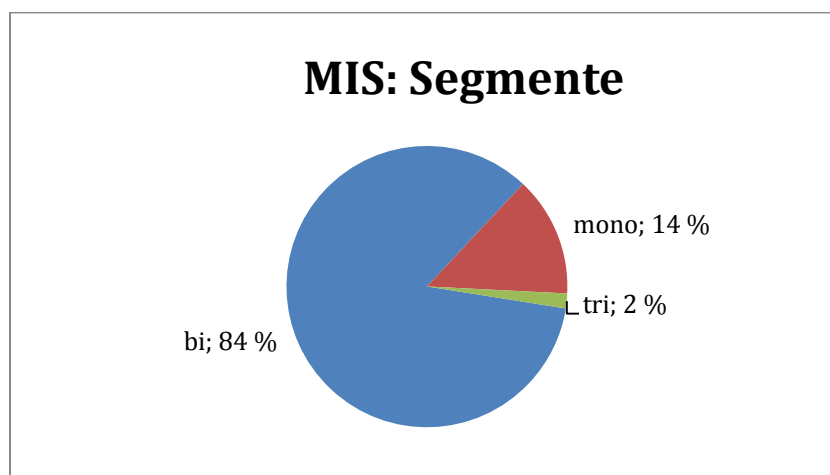


Abb. 25: MIS: Verteilung der Segmente in monosegmental (mono), bisegmental (bi) und trisegmental (tri) in %

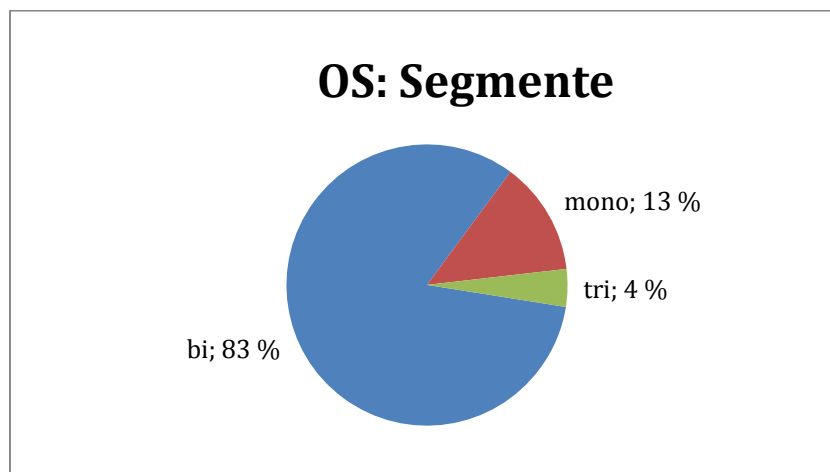


Abb. 26: OS: Verteilung der Segmente in monsegmental (mono), bisegmental (bi) und trisegmental (tri) in %

### Implantatverweildauer

Die Implantatverweildauer lag bei MIS mit  $305,5 \pm 107,3$  Tagen deutlich unter der von OS mit  $313,9 \pm 169,9$  Tagen. Nach diesem Zeitraum fand eine Implantatentfernung statt. Bei 24 (41 %) der mit MIS therapierten Patienten befand sich das Implantat zum Zeitpunkt der Datenerhebung noch in vivo, OS lag mit 9 (20 %) sichtbar darunter. Zurückzuführen ist dies auf den ausdrücklichen Wunsch der jeweiligen Patienten.

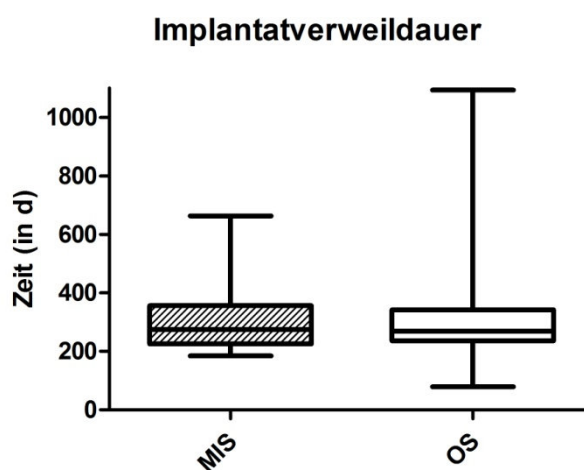


Abb. 27: Vergleich der Implantatverweildauer in Tagen zwischen MIS und OS

### 3.2 Postoperativer Krankenhausaufenthalt

Die Analyse der Länge des postoperativen Krankenhausaufenthaltes in Tagen (d) ergab einen signifikanten Unterschied beim Vergleich von MIS gesamt vs. OS ( $7,4 \text{ d} \pm 4,91$  vs.  $9,52 \text{ d} \pm 4,86$ ;  $p = 0,016$ ;  $n = 40$  (MIS);  $n = 23$  (OS)). Polytraumatisierte Patienten wurden nicht in die Berechnung mit einbezogen.

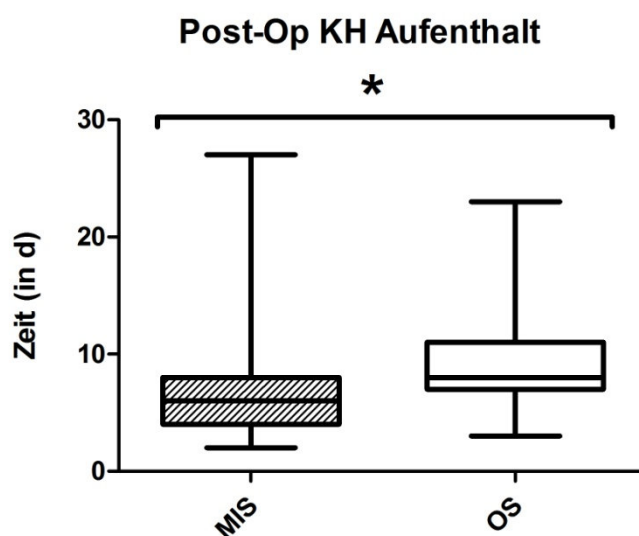


Abb. 28: Vergleich des postoperativen Krankenhausaufenthalts in Tagen zwischen MIS und OS

### 3.3 Operationsdauer

Die Analyse der Operationsdauer in Minuten (min) ergab einen signifikanten Unterschied beim Vergleich von MIS gesamt vs. OS ( $76,35 \text{ min} \pm 28,96$  vs.  $103,2 \text{ min} \pm 37,27$ ;  $p < 0,0001$ ;  $n = 52$  (MIS);  $n = 42$  (OS)). Die Zeitangaben beschränken sich auf die Wirbelsäulenchirurgie, weitere Eingriffe bei polytraumatisierten Patienten wurden ausgeschlossen.

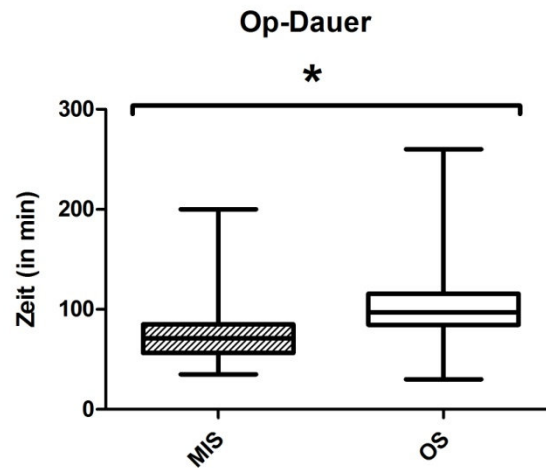


Abb. 29: Vergleich der Operationsdauer in Minuten zwischen MIS und OS

### 3.4 Anzahl der Revisionseingriffe

Die Revisionseingriffe wurden aufgrund von Blutungen, Wundinfekten und zu hohen Korrekturverlusten durchgeführt. Hintergrund war die Gegenüberstellung der Gesamtzahl der Revisionseingriffe, die aufgrund von Komplikationen jeglicher Art durchgeführt werden mussten. Ab dem Zeitpunkt des Revisionseingriffes sind die Ergebnisse der GDW nicht mehr in die Statistiken mit eingeflossen. Von den insgesamt 58 MIS-Patienten mussten 11 nachoperiert werden, davon acht Mal mit einer ventralen Spondylodese (VSD) und drei Mal mit einer Kyphoplastie. Bei fünf dieser Patienten geschah der Eingriff zwischen der sechsten Woche und dem dritten Monat postoperativ, bei drei zwischen dem dritten und sechsten Monat postoperativ, bei zwei zwischen dem sechsten und zwölften Monat postoperativ und ein Patient wurde nach mehr als einem Jahr nachoperiert. Unter allen 46 OS-Patienten wurde vier Mal nachoperiert (drei ventrale Spondylodesen und eine Kyphoplastie). Bei zwei Patienten erfolgte die Nachoperation zwischen der sechsten Woche und dem dritten Monat, bei den anderen beiden zwischen dem sechsten und zwölften Monat postoperativ. Die Daten deuten darauf hin, dass bei MIS häufiger Nachoperationen erforderlich sind; aber bei der Nachkorrektur für multiples Testen war der Unterschied nicht signifikant. Bei dem Fisher-Exact-Test ließ sich ein unkorrigierter p-Wert von 0,17 ermitteln.

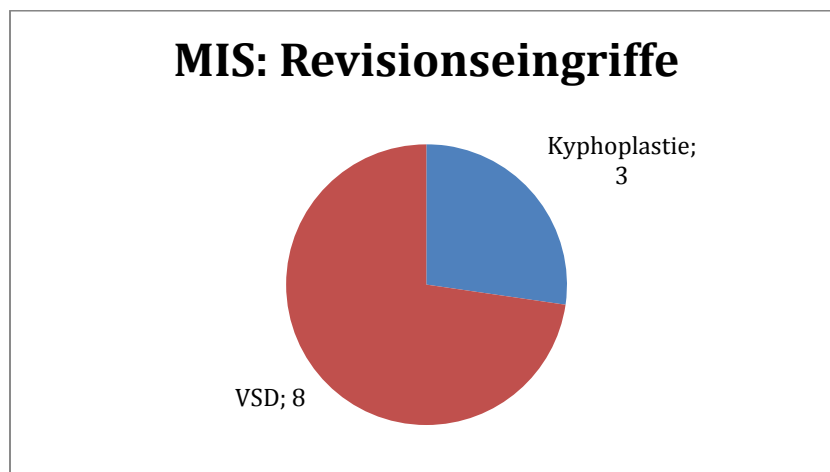


Abb. 30: MIS: Verteilung der Revisionseingriffe in absoluten Zahlen

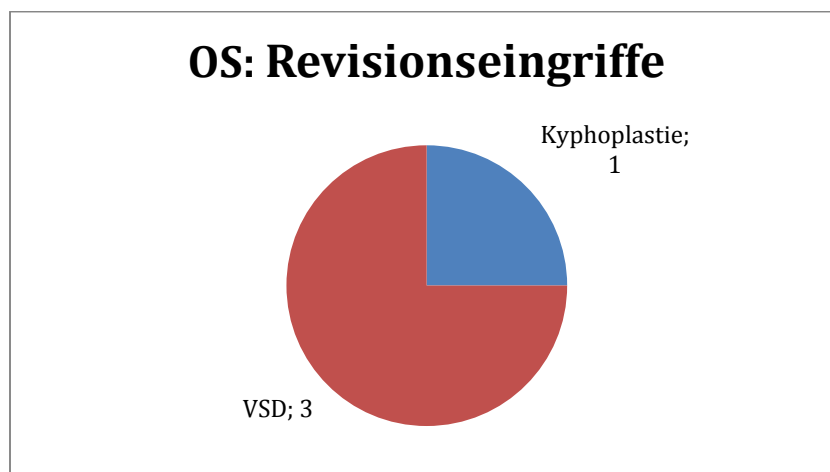


Abb. 31: OS: Verteilung der Revisionseingriffe in absoluten Zahlen

### 3.5 Röntgenologische Messdaten

#### 3.5.1 Korrekturgewinn durch die Operation

Die Gegenüberstellung des Korrekturgewinns in Grad ( $^{\circ}$ ) direkt postoperativ ergab keinen signifikanten Unterschied beim Vergleich von MIS gesamt vs. OS ( $7,51^{\circ} \pm 4,97$  vs.  $9,52^{\circ} \pm 4,53$ ;  $p = 0,052$ ;  $n = 51$  (MIS);  $n = 37$  (OS)), und MIS polyaxial vs. MIS monoaxial ( $7,85^{\circ} \pm 4,97$  vs.  $6,51^{\circ} \pm 5,04$ ;  $p = 0,39$ ;  $n = 38$  (polyaxial);  $n = 13$  (monoaxial)).

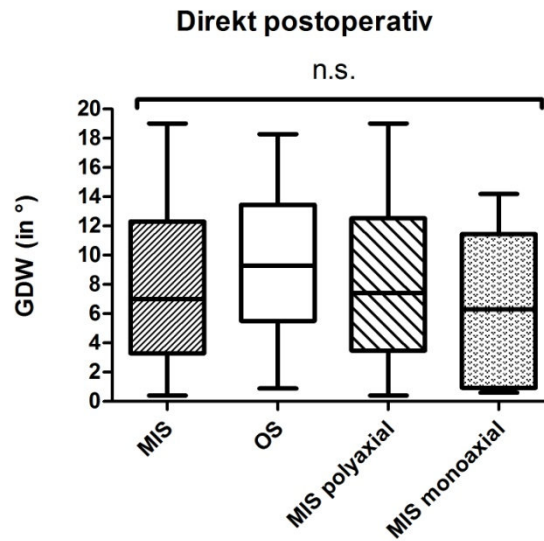


Abb. 32: Vergleich des GDW-Gewinns in Grad zwischen MIS und OS bzw. MIS polyaxial und MIS monoaxial direkt postoperativ

Die isolierte Betrachtung der bisegmental versorgten Magerl-A3.1-Frakturen ergab einen signifikanten Unterschied zwischen MIS polyaxial vs. OS ( $7,2^\circ \pm 4,93$  vs.  $10,5^\circ \pm 4,54$ ;  $p = 0,041$ ;  $n = 21$  (MIS polyaxial);  $n = 12$  (OS)), und MIS monoaxial vs. OS ( $5,49^\circ \pm 4,8$  vs.  $10,5^\circ \pm 4,54$ ;  $p = 0,023$ ;  $n = 11$  (MIS monoaxial);  $n = 12$  (OS)).

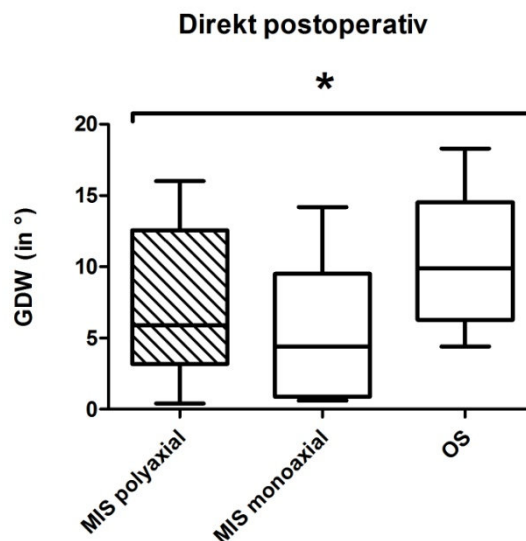


Abb. 33: Vergleich des GDW-Gewinns in Grad zwischen MIS polyaxial bzw. MIS monoaxial und OS direkt postoperativ bei Magerl A3.1 bisegmentaler Stabilisierung



### 3.5.2 Retentionsverlust

#### 6 Wochen

Die Analyse des Korrekturverlusts in Grad (°) nach 6 Wochen ergab keinen signifikanten Unterschied beim Vergleich von MIS gesamt versus OS ( $-3,86^\circ \pm 3$  vs.  $-2,81^\circ \pm 2,33$ ;  $p = 0,16$ ;  $n = 28$  (MIS);  $n = 21$  (OS)), und MIS polyaxial vs. MIS monoaxial ( $-3,51^\circ \pm 2,30$  vs.  $-4,92^\circ \pm 4,61$ ;  $p = 0,65$ ;  $n = 21$  (polyaxial);  $n = 7$  (monoaxial)).

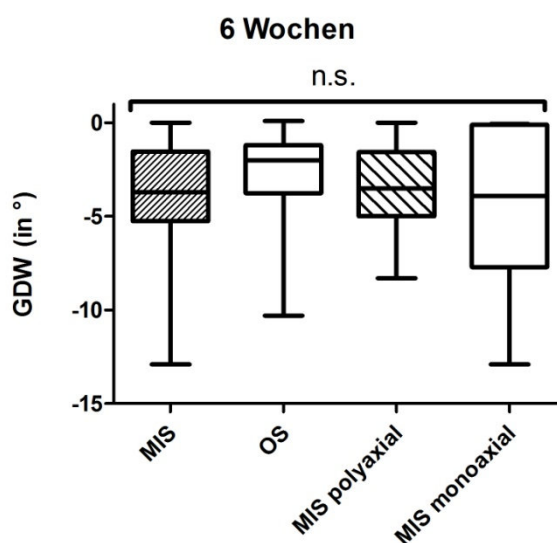
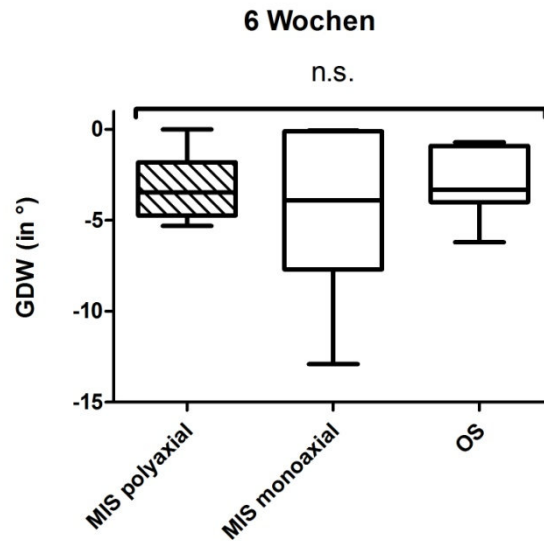


Abb. 34: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS und OS bzw. MIS polyaxial und MIS monoaxial 6 Wochen postoperativ

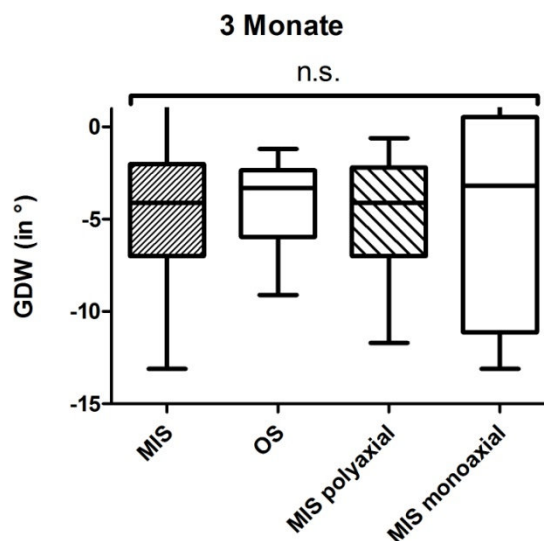
Bei der isolierten Betrachtung der bisegmental versorgten Magerl-A3.1-Frakturen ergab die Untersuchung keinen signifikanten Unterschied zwischen MIS polyaxial vs. OS ( $-3,21^\circ \pm 1,77$  vs.  $-2,84^\circ \pm 1,98$ ;  $p = 0,56$ ;  $n = 10$  (MIS polyaxial);  $n = 7$  (OS)), und MIS monoaxial vs. OS ( $-4,92^\circ \pm 4,61$  vs.  $-2,84^\circ \pm 1,98$ ;  $p = 0,62$ ;  $n = 7$  (MIS monoaxial);  $n = 7$  (OS)).



*Abb. 35: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS polyaxial bzw. MIS monoaxial und OS 6 Wochen postoperativ bei Magerl A3.1 bisegmentaler Stabilisierung*

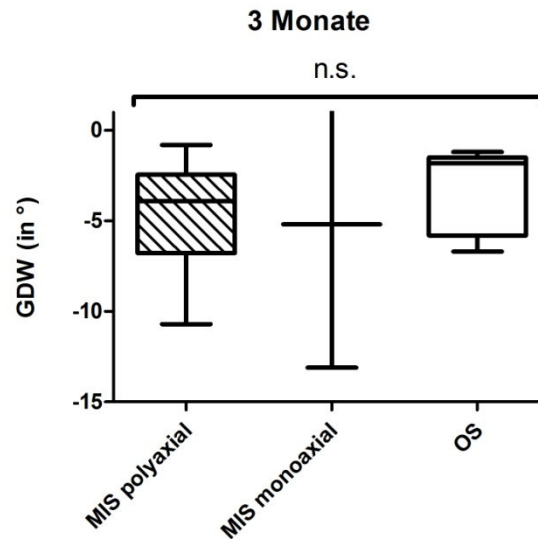
### 3 Monate

Die Betrachtung des Korrekturverlusts in Grad (°) nach 3 Monaten ergab keinen signifikanten Unterschied beim Vergleich von MIS gesamt vs. OS ( $-4,94^\circ \pm 3,84$  vs.  $-4,1^\circ \pm 2,29$ ;  $p = 0,69$ ;  $n = 23$  (MIS);  $n = 13$  (OS)), und MIS polyaxial vs. MIS monoaxial ( $-5,01^\circ \pm 3,39$  vs.  $-4,6^\circ \pm 6,24$ ;  $p = 0,72$ ;  $n = 19$  (polyaxial);  $n = 4$  (monoaxial)).



*Abb. 36: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS und OS bzw. MIS polyaxial und MIS monoaxial 3 Monate postoperativ*

Bei der isolierten Betrachtung der bisegmental versorgten Magerl-A3.1-Frakturen ergab die Beurteilung keinen signifikanten Unterschied zwischen MIS polyaxial vs. OS ( $-4,56^\circ \pm 2,92$  vs.  $-3,28^\circ \pm 2,4$ ;  $p = 0,33$ ;  $n = 10$  (MIS polyaxial);  $n = 5$  (OS)), und MIS monoaxial vs. OS ( $-5,73^\circ \pm 7,12$  vs.  $-3,28^\circ \pm 2,4$ ;  $p = 0,79$ ;  $n = 3$  (MIS monoaxial);  $n = 5$  (OS)).



*Abb. 37: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS polyaxial bzw. MIS monoaxial und OS 3 Monate postoperativ bei Magerl A3.1 bisegmentaler Stabilisierung*

### 6 Monate

Die Gegenüberstellung des Korrekturverlusts in Grad (°) nach 6 Monaten ergab keinen signifikanten Unterschied beim Vergleich von MIS gesamt vs. OS ( $-5,33^\circ \pm 3,88$  vs.  $-4,91^\circ \pm 2,15$ ;  $p = 0,76$ ;  $n = 27$  (MIS);  $n = 24$  (OS)), und MIS polyaxial vs. MIS monoaxial ( $-5,38^\circ \pm 3,56$  vs.  $-5,21^\circ \pm 4,68$ ;  $p = 0,68$ ;  $n = 18$  (polyaxial);  $n = 9$  (monoaxial)).

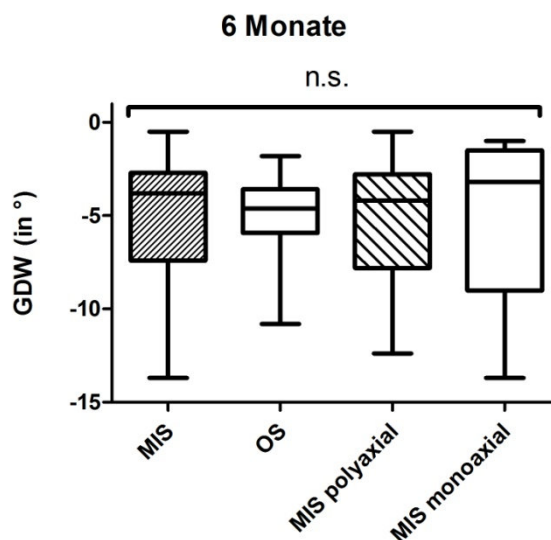


Abb. 38: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS und OS bzw. MIS polyaxial und MIS monoaxial 6 Monate postoperativ

Die isolierte Betrachtung der bisegmental versorgten Magerl-A3.1-Frakturen ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen MIS polyaxial vs. OS ( $-5,01^\circ \pm 2,28$  vs.  $-4,99^\circ \pm 0,99$ ;  $p = 0,87$ ;  $n = 9$  (MIS polyaxial);  $n = 10$  (OS)), und MIS monoaxial vs. OS ( $-5,25^\circ \pm 5$  vs.  $-4,99^\circ \pm 0,99$ ;  $p = 0,36$ ;  $n = 8$  (MIS monoaxial);  $n = 10$  (OS)).

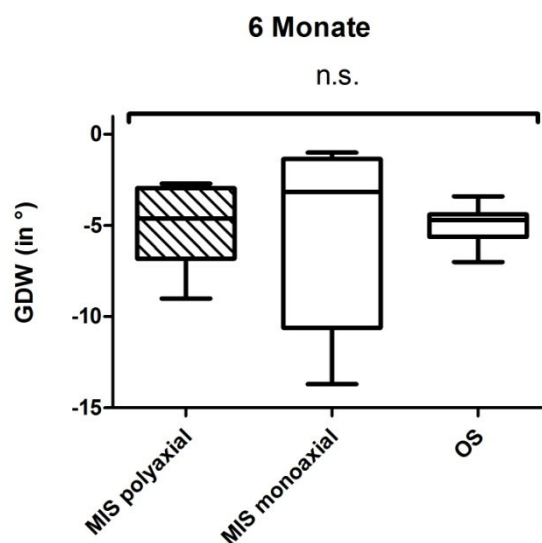


Abb. 39: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS polyaxial bzw. MIS monoaxial und OS 6 Monate postoperativ bei Magerl A3.1 bisegmentaler Stabilisierung

## 12 Monate

Die Analyse des Korrekturverlusts in Grad (°) nach 12 Monaten ergab keinen signifikanten Unterschied beim Vergleich von MIS gesamt vs. OS ( $-5,64^\circ \pm 4,32$  vs.  $-6,2^\circ \pm 2,9$ ;  $p = 0,37$ ;  $n = 20$  (MIS);  $n = 22$  (OS)), und MIS polyaxial vs. MIS monoaxial ( $-6,16^\circ \pm 4,3$  vs.  $-4,67^\circ \pm 4,51$ ;  $p = 0,36$ ;  $n = 13$  (polyaxial);  $n = 7$  (monoaxial)).

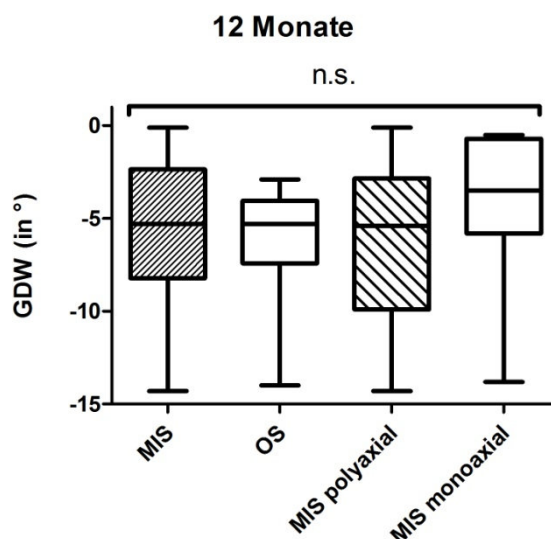


Abb. 40: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS und OS bzw. MIS polyaxial und MIS monoaxial 12 Monate postoperativ

Die isolierte Betrachtung der bisegmental versorgten Magerl-A3.1-Frakturen ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen MIS polyaxial vs. OS ( $-5,45^\circ \pm 3,04$  vs.  $-6,94^\circ \pm 1,42$ ;  $p = 0,37$ ;  $n = 4$  (MIS polyaxial);  $n = 8$  (OS)), und MIS monoaxial vs. OS ( $-4,57^\circ \pm 4,93$  vs.  $-6,94^\circ \pm 1,42$ ;  $p = 0,081$ ;  $n = 6$  (MIS monoaxial);  $n = 8$  (OS)).

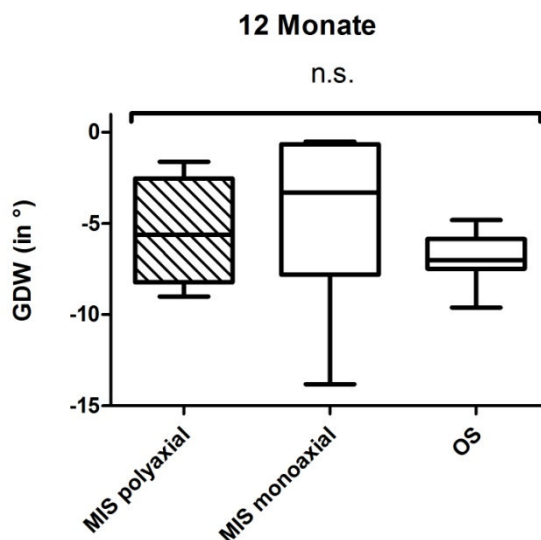


Abb. 41: Vergleich des GDW-Verlusts in Grad zwischen MIS polyaxial bzw. MIS monoaxial und OS 12 Monate postoperativ bei Magerl A3.1 bisegmentaler Stabilisierung

Zusammengefasst besteht zu keinem Zeitpunkt (6 Wochen, 3, 6, 12 Monate) ein signifikanter Unterschied ( $p\text{-Wert} \geq 0,05$ ) zwischen den Retentionsverlusten der beiden verwendeten Verfahren. In der Datenerhebung zeigte sich ein Trend zu geringeren Korrekturverlusten bei OS, diese sind aber statistisch nicht signifikant.

Bei der Gegenüberstellung von MIS polyaxialen- mit MIS monoaxialen Fixierungen zeigte sich kein signifikanter Unterschied ( $p\text{-Wert} \geq 0,05$ ) zu einem bestimmten Zeitpunkt (6 Wochen, 3, 6, 12 Monate).

Auch die isolierte Betrachtung der Magerl-A3.1-Frakturen mit bisegmentaler Stabilisierung führt zu keinem Zeitpunkt (6 Wochen, 3, 6, 12 Monate) zu einer statistischen Signifikanz.

Mit dem Fisher-Exact-Test wurde überprüft, ob das Verfahren vom Geschlecht abhängig ist. Der  $p\text{-Wert}$  wurde mit 0,17 bestimmt. Somit ist das Verfahren geschlechtsunabhängig.

## 4 Diskussion

Die Erzeugung ausreichender Stabilität, unter der der aufgerichtete Wirbelkörper unter optimalen Bedingungen genesen kann, wird von allen die Wirbelsäule stabilisierenden Eingriffen angestrebt. Dabei spielen sowohl das subjektive Empfinden des Patienten als auch objektive Parameter eine Rolle, die den Unterschied zwischen Erfolg und Misserfolg ausmachen. Viele Chirurgen tendieren immer mehr zur minimalinvasiven Chirurgie. In den folgenden Abschnitten wird anhand der Studienergebnisse unter verschiedenen Gesichtspunkten diskutiert, von welchem der beiden operativen Verfahren ein Patient am meisten profitiert.

### Patientenkollektiv

In diese Studie wurden 104 Patienten eingeschlossen. Die Aussagekraft der Studie leidet durch die Unterteilung und die damit verringerte Fallzahl. In einer Internet-basierten Nachuntersuchung fasste Reinhold mehr als 700 Patienten zusammen (Reinhold et al., 2010). Hingegen finden sich bei einem Beitrag von Wild lediglich 23, bei einer Publikation von Yang sogar nur 21 Probanden (Wild et al., 2007) (Yang et al., 2012).

Die Charakteristika der hier eingeschlossenen Patienten entsprechen denen ähnlicher Veröffentlichungen. In der Publikation von Reinhold gaben 51 % einen Sturz als Ursache des Krankenhausaufenthalts an (Reinhold et al., 2010). Die Beschreibung der vorliegenden Untersuchung spiegelt dies wider: 83 % der mit MIS und 82 % der mit OS operierten Patienten gaben einen Sturz als ausschlaggebenden Grund für den Klinikaufenthalt an. Bei Yang äußerten 61,9 % einen Sturz als Ursache für die stationäre Aufnahme (Yang et al., 2012). Das ermittelte Durchschnittsalter von 46,5 Jahren bei OS und 50,5 Jahren bei MIS entspricht dem Altersmedian von 49,1 Jahren von Wild (Wild et al., 2007). Reproduziert werden konnte auch der Fakt, dass sich die mit Abstand am häufigsten frakturierten Wirbelkörper am thorakolumbalen Übergang befinden (Gonschorek et al., 2013a) (De Iure et al., 2012) (Prokop et al., 2009).

In Übereinstimmung mit anderen wissenschaftlichen Beiträgen ermittelt auch diese Studie, dass es sich größtenteils um A3.1-Frakturen nach der Magerl-Klassifikation handelt (Grass et al., 2005) (Reinhold et al., 2010) (Knop et al., 1999). Schon bei der Einführung erkannte Magerl, dass Typ-A-Brüche den größten Anteil mit 66,1 % stellen (Magerl et al., 1994). Trotz

des vielschichtigen Aufbaus reflektierten die nahezu identischen Ergebnisse unterschiedlicher Autoren die Verlässlichkeit der Einteilung thorakolumbaler Frakturen.

Die gesamte Krankenhausaufenthaltsdauer von Reinhold mit 14 Tagen bei dorsaler Stabilisierung entspricht den vorliegenden Resultaten von 14,22 Tagen bei der offenen und 11,28 Tagen bei der minimalinvasiven Methode (Reinhold et al., 2010). In vielen Veröffentlichungen, wie zum Beispiel der von Palmisani lässt sich erkennen, dass durchgehend das männliche Geschlecht öfter betroffen ist als das weibliche (Palmisani et al., 2009). Mit 63 % sind Männer bei OS auch in der vorliegenden Arbeit häufiger betroffen, bei MIS liegt dieser Wert mit 48 % unter dem Durchschnitt.

### **Vergleich offener und minimalinvasiver Verfahren**

In den letzten Jahren fand eine Trendverlagerung von der offenen zur minimalinvasiven Versorgung statt. Davon ist nicht nur die Wirbelsäulenchirurgie betroffen, auch in anderen chirurgischen Feldern ist diese Tendenz zu beobachten. Hildebrand sieht die Verwendung des minimalinvasiven Verfahrens nach der Anästhesie und der Desinfektion als dritten Meilenstein der operativen Therapie (Hildebrand et al., 2007).

Ein Charakteristikum minimalinvasiver Versorgung ist, dass der Operateur viel Übung, Wissen und Geschick braucht. Schwierigkeiten entstehen dadurch, dass keine direkte Sicht auf das Operationsfeld besteht und die einzelnen Schritte der Operation komplex sind. Ärzte müssen bei eventuell auftretenden Komplikationen jederzeit in der Lage sein, alternativ auf die offene Technik umzusteigen, um gewünschte Resultate zu erzielen (Blattert & Katscher, 2013).

Beim offenen Verfahren liegt unmittelbare Sicht auf den zu versorgenden Wirbelkörper vor. Durch ständiges Benutzen des CT- und Röntgengeräts soll iatrogenen Schäden, wie zum Beispiel eine Fehlplatzierung der Pedikelschrauben, vorgebeugt werden. Wichtig ist der zweckmäßige und verantwortungsbewusste Einsatz der 3D-Bildgebung. In naher Zukunft soll die Strahlenexposition durch Computernavigation auf ein Minimum reduziert werden, um möglichen Schäden effektiv vorzubeugen. Eine günstige Aufstellung der Geräte um den Operationstisch, der Gebrauch von Bleischürzen und die genaue Befolgung des ALARA-Prinzips (as low as reasonable achievable) helfen dieses Ziel zu erreichen (Neubauer & Wagner, 2009). Prokop veröffentlichte eine Studie, die zeigte, dass durch eine konsequente



Durchführung dieser und weiterer Vorgaben eine Strahlenexposition von 3:35 Minuten bei der minimalinvasiven und 3:30 Minuten bei der offenen Operation resultierte (Prokop et al., 2009). Der Unterschied beträgt nur fünf Sekunden. Beide Techniken verursachen durch die heutigen vorliegenden Richtlinien und Möglichkeiten der Technik ungefähr die gleiche Strahlung. Aus Sicht der Belastung durch Strahlen kann keinem der beiden Verfahren Vorzug gegeben werden. In Zukunft ist von einer weiteren Reduktion dieser Belastung und der damit assoziierten Verletzungen auszugehen.

Die Beschädigung prävertebraler Gefäße zum Beispiel durch den Führungsdraht stellt ein Gefahrenpotential bei der minimalinvasiven Methode dar (Blattert & Katscher, 2013). Eine Läsion der Weichteile wird bei unvorsichtigem Einsatz der Instrumente hervorgerufen. Prinzipiell besteht aber das Risiko der Verletzung ventraler Strukturen auch beim offenen Verfahren.

#### Operationsdauer

Wie die Ergebnisse dieser Studie zeigen, liegt die durchschnittliche Operationsdauer beim minimalinvasiven Verfahren mit 76,35 Minuten signifikant unter den 103,2 Minuten des offenen Verfahrens. Noch im Jahre 2007 veröffentlichte Wild eine Studie, bei der die Dauer des offenen 6,5 Minuten unter der des minimalinvasiven Verfahrens lag (Wild et al., 2007). Es wurde jedoch kein statistischer Unterschied ermittelt. Schon 3 Jahre später zeigte Wang, dass durch konsequente Weiterentwicklung der Technik die Operationsdauer der minimalinvasiven Methode deutlich unter der offenen lag (Wang et al., 2010). Die Ergebnisse dieser Studie belegen diese Tendenz. Kürzere Operationszeiten bedeuteten einen niedrigeren operativen Stress, eine verkürzte Beatmungszeit und eine verminderte Exposition gegenüber Narkosemitteln. Zunächst war davon auszugehen, dass die totale Operationszeit von MIS länger sei, da es die komplexere Technik mit mehr Einzelschritten ist. Dass dem nicht so ist, lässt sich darauf zurückzuführen, dass die Eröffnung der Muskulatur mit der Schaffung eines Zugangs zu den Pedikeln und der abschließenden, aufwändigeren Wundversorgung bei OS viel Zeit in Anspruch nimmt.

Durch den kürzeren Aufenthalt im Operationssaal verringert sich das Risiko operationsassoziierten Krankheiten zu erliegen. Dazu gehören zum Beispiel Verwirrheitszustände wie das

Durchgangssyndrom, die verminderte Belastung des Herz-Kreislauf-Systems und die Vermeidung von Thrombosen und Stress-Ulcera.

Kürzere Operationszeiten und schonendere Interventionen ermöglichen einen reduzierten Blutverlust. In einer Studie von Wild betrug der Blutverlust intra- und postoperativ 821,1 ml beim offenen Verfahren, hingegen 350 ml beim minimalinvasiven (Wild et al., 2007). Bei Grass lag ein noch größerer Unterschied vor: Bei der offenen Methode lag die absolute Menge bei 870 ml, gegenüber 40 ml bei der minimalinvasiven Methode (Grass et al., 2005). Hauptgrund des höheren Defizites bei OS war der Meinung der Autoren nach das Beiseiteschieben des M. multifidus und des M. longissimus. Dadurch, dass die Instrumente bei MIS die Muskeln an der Eintrittsstelle der Pedikelschrauben lediglich durchdringen, entstehen schonendere und weniger traumatische Resultate. Auch ein Artikel von Lee beschäftigt sich mit dem postoperativen Blutverlust bei Wirbelsäulenoperationen. Die Werte von 528,9 ml beim offenen und 0 ml beim minimalinvasiven Verfahren entsprechen den vorher genannten Studien in der Aussage, dass bei der offenen Versorgung im Durchschnitt wesentlich mehr Blut verloren geht. Zu beachten ist, dass bei der Studie minimalinvasive Verfahren zur lumbalen Wirbelkörperperfusion bei Spondylarthrose untersucht wurden (Lee et al., 2012).

Gejo erkannte, dass Verletzungen der Rückenmuskulatur direkt im Zusammenhang mit der Ablösung der Muskulatur während der Operation stehen. Vor allem die Genesung der Rückenmuskelextensoren verzögert sich. MRT-Aufnahmen belegen dies. Anhand der VAS (Visuelle Analogskala) beschrieben Patienten ihre subjektiven Wahrnehmungen. Bei der Auswertung der VAS fiel auf, dass 6 Monate postoperativ eine positive Korrelation zwischen kürzeren Operationszeiten und geringeren Rückenschmerzen besteht (Gejo et al., 1999). Kramer untersuchte die Beeinträchtigung der Rückenmuskulatur durch Instrumente bei dorsalen offenen Wirbelsäulenoperationen (Kramer et al., 2001). Anhand elektromyographischer Untersuchungen versuchte er diesen Einfluss zu objektivieren. Ein Schaden wurde vor allem am M. multifidus festgestellt. Diese Verletzung wird durch eine erhöhte Muskelkontraktion im M. iliocostalis kompensiert. Ein weiteres Defizit entstand durch die Läsion der Rami posteriores nervi spinalis. Der Eingriff verändert folglich das gesamte Gleichgewicht der autochthonen Rückenmuskulatur. Die postoperative Schmerzentwicklung könnte der Meinung der Autoren zufolge mit dem Verlust der Balance in Verbindung stehen. Diese Ergebnisse wurden in einer weiteren Studie mithilfe der Toennies-Elektromyographie bestätigt (Grass et al., 2005). Die Autoren konstatieren, dass eine Schädigung und die dadurch ent-

standenen Komplikationen durch das Abtragen der Muskeln beim offenen Verfahren durch den Einsatz der minimalinvasiven Variante verhindert werden können.

Es konnte gezeigt werden, dass die Serum-Kreatin-Kinase am dritten Tag postoperativ bei der minimalinvasiven im Vergleich zur offenen Technik signifikant reduziert war. Dieser Unterschied relativierte sich bis zum siebten Tag postoperativ (Shunwu et al., 2010). Es wurde geschlossen, dass offen operierte Patienten ein höheres Muskeltrauma erleiden als minimalinvasiv Versorgte. Zu beachten ist, dass bei der Studie von Shunwu das minimalinvasive System transforaminal implantiert wurde. Das Enzym Serum-Kreatin-Kinase wird als Marker für die Muskelschädigung herangezogen. Folglich haben die erhöhte Operationsdauer der offenen Versorgung und die damit verbundene verlängerte Immobilisationszeit zu dem verlängerten postoperativen Krankenhausaufenthalt beigetragen.

#### Postoperativer Krankenhausaufenthalt

Durch kleinere Hautschnitte und eine wenig traumatisierende tiefe Präparation ist die Krankenhausliegedauer bei MIS mit 7,4 Tagen im Vergleich zu OS mit 9,5 Tagen signifikant reduziert. Bei der Berechnung wurden polytraumatisierte Patienten ausgeschlossen. Auch Wang stellte fest, dass minimalinvasiv operierte Patienten nach 11,1 Tagen entlassen wurden, wohingegen die offen operierte Vergleichsgruppe mit 22,9 Tagen mehr als den doppelten Zeitraum benötigte (Wang et al., 2010). Bei den angegebenen Zeiträumen von Wang handelt es sich um die Gesamtaufenthaltsdauer.

Die Verkleinerung des Zugangstraumas geht mit einem verkürzten Aufenthalt in der Klinik einher (Hildebrand et al., 2007). Die Autoren beschreiben geringere Schmerzen, die subjektiv anhand der VAS und objektiv mithilfe der Analgetikadosen charakterisiert werden. Weiterhin beschreiben die Autoren, dass auch die Immunreaktion auf das Operationstrauma geringer ist. Die immunsuppressive Wirkung des Traumas könnte so vermindert sein. Durch den kleineren Hautschnitt bei der minimalinvasiven Variante ist neben dem rein kosmetisch günstigeren Resultat das Risiko auf eine Wundentzündung reduziert. Im schlimmsten Fall breitet sich ein lokalisierte Herd zu einer systemischen Reaktion aus. Die verlängerte Genesung der Narbe mit etwaigen assoziierten Komplikationen kann zu einer verzögerten Entlassung und zu eventuellen weiteren operativen Eingriffen führen. Die Patienten sind länger immobilisiert. Die Rehabilitationsmaßnahmen, der Wiederaufbau der betroffenen Muskulatur und die vollständige

dige Wiedereingliederung in das Sozial- und Arbeitsleben verzögern sich konsequenterweise. Zusammenfassend bedeuten kleinere Einschnitte weniger Wundheilungsdefekte und -störungen postoperativ und damit indirekt kürzere Hospitalisierungszeiten.

Durch den demographischen Wandel vergrößerte sich die Gruppe der alten Menschen in den letzten Jahren enorm. Vor allem diese hochbetagten und immungeschwächten Patienten profitieren von verkürzten Hospitalaufenthalten. Das Risiko, an nosokomialen Keimen zu erkranken, wird durch eine verminderte Exposition minimiert. Für viele Kranke bedeutet die Zeit im Krankenhaus einen psychologischen Belastungsfaktor. Zwei Tage sind vor allem für psychisch labilere Menschen von Bedeutung. Diese Stresssituationen sind in gewohnter häuslicher Umgebung reduziert. Faktoren wie das subjektive Empfinden und eine hohe Lebensqualität tragen zu einem gutem klinischem Outcome bei und dürfen nicht außer Acht gelassen werden.

#### Revisionseingriffe

Blutungen, Wundinfektionen und zu hohe Korrekturverluste waren ausschlaggebend. Die Ergebnisse der Studie belegen, dass sich beide Verfahren hinsichtlich der Anzahl der Revisionseingriffe nicht signifikant unterscheiden. Die Annahme, dass es aufgrund der verschiedenen Operationstechniken bzw. des implantierten Materials zu einer unterschiedlichen Anzahl an Revisionseingriffen kommen würde, bestätigte sich nicht. Durch ständige Weiterentwicklung der Operationstechnik und konstante Verbesserung des Materials ist davon auszugehen, dass die Komplikationsrate und die damit verbundenen Nachoperationen in Zukunft rückläufig sind.

Eine Materialermüdung, unzureichende Fixierung oder sonstige Komplikationen, die im Zusammenhang mit dem implantierten Material stehen, können ursächlich sein. Eine besondere Gefahr bei der transpedikulären Implantation geht von einer Pedikelschraubenfehlage aus. Benachbarte anatomische Strukturen können beschädigt und in ihrer Funktion beeinträchtigt werden. Die geforderte Stabilität ist bei einer Fehllage nicht gewährleistet. Die Schrauben liegen zu weit kranial, kaudal, medial, lateral oder ventral (Tscherne & Blauth, 1998). Mögliche Symptome sind die Irritation der Nerven, die Schädigung des Myelons bzw. der Dura und die Beeinträchtigung der Gefäße. Aufgrund dieser Probleme wird eine CT-Aufnahme direkt nach der Operation empfohlen (Gonschorek et al., 2013b).

## **Radiologische Auswertung**

Die beiden Verfahren wurden bei der radiologischen Auswertung in drei Gruppen unterteilt. Der GDW wurde als objektives Kriterium herangezogen. Zuerst wurde ein Vergleich aller vorhandenen GDW von MIS und OS angestellt. Des Weiteren wurden innerhalb von MIS die monoaxialen den polyaxialen Schrauben gegenübergestellt. Als dritte Subgruppe wurden isoliert die bisegmentalen stabilisierten Magerl-A3.1-Frakturen ausgewählt. Es wurde geprüft, ob ein Unterschied zwischen MIS monoaxial bzw. polyaxial und OS besteht.

Bei dem übergreifenden Vergleich von MIS versus OS hinsichtlich des Repositionsgewinns fiel kein signifikanter Unterschied auf. Bei der isolierten Betrachtung der Magerl-A3.1-Frakturen wurde ein signifikanter Unterschied bei der Reposition sowohl bei MIS monoaxial versus OS, als auch bei MIS polyaxial versus OS festgestellt.

Eine entsprechende Studie nach Ma kommt zu einem vergleichbaren Resultat (Ma et al., 2012). Die Autoren verglichen den Kyphosewinkel zwischen dem offenen und minimalinvasiven Verfahren vor und kurz nach der Operation. Dabei beschränkte sich die Untersuchung auf monosegmentale Implantate. Der p-Wert von  $> 0,05$  deutet auf keinen statistischen Unterschied hin.

Ein Großteil der Reposition erfolgt durch Lagerungsmaßnahmen. Oft muss jedoch mithilfe des eingesetzten Systems die richtige Winkeleinstellung vorgenommen werden. Bei MIS liegt keine direkte Sicht auf das Operationsfeld vor. Anstatt direkt am Wirbelkörper zu adjustieren, wird versucht, durch die Hautschicht und Muskulatur die Fraktur zu reponieren. Dadurch war anzunehmen, dass sich die Lordosierung bei MIS schwieriger gestaltet als bei OS. Dies konnte durch die vorliegende Studie nicht bewiesen werden. Es besteht lediglich bei den bisegmentalen stabilisierten Magerl-A3.1-Frakturen ein signifikanter Unterschied bei der Wirbelkörperaufrichtung.

Durch die Flexibilität, die polyaxiale Schrauben zwischen dem Schraubenschaft und -kopf aufweisen, besteht während der Operation keine Möglichkeit einer Reposition. Eine Reposition ist bei Verwendung des offenen Verfahrens und bei monoaxialen Schrauben des minimalinvasiven Verfahrens möglich. Die Vermutung, dass ein Unterschied zwischen OS und MIS-monoaxial im Vergleich zu MIS-polyaxial hinsichtlich der Wirbelkörperaufrichtung besteht, bestätigte sich nicht. Es wird das Fazit gezogen, dass zwar bei OS und MIS-monoaxial eine

Reposition möglich ist, jedoch kein signifikanter Unterschied zu MIS-polyaxial besteht, die die Aufrichtung lediglich durch Lagerungsmaßnahmen erlauben.

Wird der Retentionsverlust der beiden Verfahren zusammenfassend beschrieben, ist hervorzuheben, dass zu den examinierten Stichtagen niemals ein signifikanter Unterschied in einem der drei Kollektive besteht. Aus Sicht der radiologischen Ergebnisse ist keine Differenz zwischen den beiden Verfahren festzustellen. Die begrenzte Anzahl an Probanden, die Einteilung in die Subgruppen und teilweise fehlende radiologische Bilder reduzierten die Fallzahl und damit die Aussagekraft dieser Untersuchung. Sowohl das offene als auch das minimalinvasive System geben im Laufe der Zeit nach und verlieren an Stabilität. Zu jedem Zeitpunkt liegt der GDW-Verlust des offenen unter dem des minimalinvasiven. Die Annahme, dass der GDW-Verlust bei beiden Systemen nach der Operation mit der Zeit stetig zunimmt, bestätigte sich. Findet sich 6 Wochen postoperativ ein Verlust von  $-2,81^\circ$  bei OS und  $-3,86^\circ$  bei MIS, steigt dieser Wert kontinuierlich an. Das Maximum wird bei  $-6,2^\circ$  (OS) bzw.  $-5,64^\circ$  (MIS) 12 Monate postoperativ erreicht. Diese Tendenz wird dadurch erklärt, dass umso länger sich das Material in situ befindet, es sich durch den Genesungsprozess und bestimmte Bewegungen im Laufe der Zeit verändert. Um wieder Muskeln aufzubauen und in den normalen Alltag zurückzukehren, ist Mobilität wichtig. Durch ständige Bewegungen, die auf das stabilisierende System übertragen werden, kommt es zu einer Migration der Pedikelschrauben und einem mit ihr einhergehenden Stabilitätsverlust oder zu einem Verbiegen der Längsträger.

In einer Studie von Wang werden verschiedene Parameter zwischen der offenen und der minimalinvasiven Methode bei thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen vom Typ A verglichen (Wang et al., 2010). Für die Gegenüberstellung wird der Cobb-Winkel als objektives Kriterium herangezogen. Untersucht wurde, um wie viel Grad sich die beiden Operationsmethoden in Bezug auf den Retentionsverlust 9 Monate postoperativ unterscheiden. Mit einem p-Wert von 0,651 stellten auch sie keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich des Winkelverfalls fest. Yang beschränkte sich bei seiner Publikation auf das minimalinvasive Verfahren bei thorakolumbalen Wirbelkörperbrüchen (Yang et al., 2012). Er verglich die kyphotischen Winkel 3 und 6 Monate postoperativ mit dem direkt postoperativen kyphotischen Winkel, aber auch hier fiel kein signifikanter Unterschied auf.

Werden die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie hinsichtlich der unterschiedlichen Schraubentypen (monoaxial, polyaxial) bei MIS gegenübergestellt, ist hervorzuheben, dass kein signifikanter Unterschied zu einem bestimmten Zeitpunkt vorliegt. Palmisani publizierte eine

Arbeit, die den Retentionsverlust von mono- mit dem der polyaxialen Schrauben bei CD Longitude MIS bei thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen vergleicht (Palmisani et al., 2009). Im Durchschnitt wurden Patienten 14,2 Monate nachbeobachtet. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass polyaxiale Schrauben einen höheren Retentionsverlust aufweisen als monoaxiale. Sie empfehlen daher den Einsatz monoaxialer Schrauben bei thorakolumbalen Wirbelkörperbrüchen. Der erhöhte Korrekturverlust kommt nach Palmisani durch die Beweglichkeit zustande, die das Gelenk am Übergang des Schraubenkopfs zum Schraubenschaft aufweist. Da monoaxiale Schrauben an dieser Stelle kein Gelenk aufweisen und festsitzen, gewährleisten sie einen besseren Schutz gegenüber minimalen Bewegungen und fixieren die Reposition besser. Die Studie von Palmisani wurde von De Iure aufgegriffen und systematisch durch mehr Patienten erweitert (Palmisani et al., 2009) (De Iure et al., 2012). Die Resultate der beiden Arbeiten unterscheiden sich nicht. Auch diese Autoren schlussfolgern, dass polyaxiale Schrauben eine höhere Instabilität und im Schnitt einen höheren Retentionsverlust als monoaxiale Schrauben aufzeigen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen keinen Unterschied hinsichtlich des Retentionsverlusts.

Die größte Gruppe der bisegmental versorgten Brüche stellen Wirbelkörperfrakturen vom Typ A3.1 der Magerl-Klassifikation dar. Andere Studien kommen auf eine ähnliche Beschreibung des Patientenkollektivs (Blauth & Bastian, 1999) (Wang et al., 2010) (Reinhold et al., 2010). Die isolierte Betrachtung der bisegmental operierten Magerl-A3.1-Frakturen ergab keinen signifikanten Unterschied beim Vergleich von MIS polyaxial bzw. MIS monoaxial versus OS im Hinblick auf einen eventuellen Retentionsverlust. Mit dieser Darstellungsweise lassen sich seltenere Fraktur- und Stabilisierungsformen ausgrenzen. Die Tatsache, dass auch bei Betrachtung dieser Einteilung kein signifikanter Unterschied erkennbar ist, unterstützt die Aussage, dass die Wahl der Operationsmethode unabhängig von radiologischen Parametern getroffen werden kann. Vergleichbare Publikationen konnten ungeachtet intensiver Literaturrecherche nicht ermittelt werden.

## Kostenfaktor

Allein im Jahre 2011 wurden in Deutschland 293,8 Milliarden Euro für Gesundheit ausgegeben. Das entspricht einem Zuwachs von 1,9 % (5,5 Milliarden Euro) im Vergleich zum Vorjahr (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2013). In Zeiten größer werdenden ökonomischen Drucks und der Rationalisierung fällt der Kostenfaktor auch im Gesundheitssystem zunehmend ins Gewicht. Die Etablierung eines ausgeglichenen finanziellen Systems ist langfristig unabdingbar. Nur dadurch kann langfristig der hohe Versorgungsstandard flächendeckend erhalten werden. Die folgende Kalkulation für eine Schnitt-Naht-Minute und für einen stationären Tag auf einer Normalstation geht auf die Abteilung für Unfallchirurgie der Universität Göttingen aus dem Jahre 2012 zurück. Die Zahlen wurde freundlicherweise von dem Finanzcontrolling der Universitätsmedizin Göttingen herausgegeben.

Während einer Operation kostet die Schnitt-Naht-Minute 15,71 Euro. Davon entfallen 30,38 % auf den ärztlichen Dienst, 20,52 % auf die Pflege, 29,18 % auf die Sachkosten, 3,25 % auf die Umlagen und 16,67 % auf die Gemeinkosten. Zu den Umlagen gehören Abgaben für Strom, Wärme, Reinigung, Wäscherei und Medizintechnik. Gemeinkosten setzen sich aus nicht direkt zugeordneten Beträgen wie zum Beispiel der Verwaltung oder Abschreibungen zusammen.

Die Kosten für einen Tag auf einer Normalstation belaufen sich auf 163,57 Euro. Darin enthalten sind mit 8,83 % der ärztlichen Dienst, mit 43,82 % die Pflege, mit 12,31 % die Sachkosten, mit 18,38 % die Umlagen und mit 16,66 % die Gemeinkosten.

Die Nachfrage des Verkaufspreises für einen Fixateur interne ergab 2152 Euro bei der Firma Medtronic (MIS) und 1400 Euro bei der Firma MTM / Medizin Technik Mauk (OS). Ein System setzt sich aus jeweils 4 Pedikelschrauben, 2 Stäben und 4 Verschlusschrauben (MIS) bzw. 4 Verschlussblöcken (OS) zusammen. Die Instrumente zur Implantation werden mehrmals verwendet und sind deshalb nicht mit in diese Berechnung eingeflossen. Für jedes Verfahren wurden die durchschnittlich ermittelten Operationsminuten und postoperativen Krankenhausaufenthaltstage mit den zugehörigen Kosten der Schnitt-Naht-Minuten bzw. der Normalstation (pro Tag) multipliziert. Die Resultate wurden zu den Materialkosten addiert. Die folgende Tabelle veranschaulicht die Kostenaufstellung:



	Zeitraum		Kosten pro Einheit	Summe (in €)	
	MIS	OS		MIS	OS
Operationsdauer (in min)	79,68	103,2	15,71 €/ min	1251,77	1621,27
Postoperativer KH- Aufenthalt (in d)	9,6	11,87	163,57 €/ d	1570,27	1941,58
Material				2152	1400
<b>Gesamtbetrag</b>				<b>4974,04</b>	<b>4962,85</b>

*Tabelle 1: Kostenaufstellung von MIS und OS unter Berücksichtigung der Operations-, Krankenhausaufenthalts- und Materialkosten*

Die Differenz zwischen den beiden Verfahren beträgt 11,19 Euro. Um diesen Betrag ist MIS teurer als OS. Bezogen auf den Gesamtbetrag entspricht das einem Kostenmehraufwand von 0,23 %. Die Aufwendungen für längere Operationen und den ausgedehnten postoperativen Krankenhausaufenthalt bei OS werden durch den höheren Materialpreis bei MIS aufgehoben. Es fällt kein substanzieller finanzieller Unterschied auf, der das eine oder das andere Verfahren aus ökonomischer Sicht favorisiert. Prokop verglich verschiedene Parameter zwischen dem minimalinvasiven und dem offenen dorsalen Eingriff bei der Therapie von Wirbelsäulenbrüchen (Prokop et al., 2009). Auch er resümierte, dass sich der finanzielle Mehraufwand des teureren minimalinvasiven Systems durch den verkürzten Eingriff und Klinikaufenthalt relativiert.

Weitere Prozeduren wie Rehabilitation, Wiedereingliederungsmaßnahmen oder eventuelle Revisionseingriffe durch Materialermüdung wurden ausgeschlossen. Diese und weitere finanzielle Belastungen spielen eine wichtige Rolle. Hildebrand beschäftigt sich in einer Publikation mit den Vorteilen der minimalinvasiven Chirurgie (Hildebrand et al., 2007). Der Autor hebt hervor, dass aufgrund von präventiven Maßnahmen, wie zum Beispiel der Verkleinerung der Schnittwunde auf ein Minimum, Komplikationen vorgebeugt werden und konsequenterweise Kosten minimiert werden.

## 5 Zusammenfassung

Thema dieser Studie ist die operative Versorgung thorakolumbaler Wirbelkörperfrakturen. Trotz vieler therapeutischer Optionen und des großen Fortschritts auf diesem Gebiet findet sich noch keine eindeutige Richtlinie zur Therapie. Die dorsale Fixierung mittels eines Fixateur interne zur Stabilisierung der Reposition stellt eine dieser Möglichkeiten dar. Die Implantation erfolgte lange Zeit nur offen. In den letzten Jahren etablierte sich die minimalinvasive Operationstechnik zunehmend. Anhand folgender Kriterien wird das minimalinvasive Longitude-Verfahren der Firma Medtronic (MIS) mit dem offenen Reco-Verfahren der Firma Medizin Technik Mauk (OS) verglichen:

- Röntgenologische Ergebnisse der Reposition und des Retentionsverlustes in Grad
- Postoperativer Krankenhausaufenthalt in Tagen
- Operationszeit in Minuten
- Anzahl der Revisionseingriffe

Zwischen Dezember 2006 und August 2013 wurden in der unfallchirurgischen Abteilung des Universitätsklinikums Kiel 46 (Männer = 29, Frauen = 17) mit einer offenen und 58 Patienten (Männer = 28, Frauen = 30) mit einer minimalinvasiven dorsalen Fixierung operativ versorgt, die unter die Einschlusskriterien fielen. Der Altersdurchschnitt betrug 46,52 Jahre bei OS und 50,5 Jahre bei MIS. In mehr als der Hälfte der Fälle war der zwölfte thorakale und der erste lumbale Wirbelkörper betroffen (MIS: 62 %, OS: 63 %). Meist handelte es sich um eine Magerl-A3.1 Fraktur (MIS: 69 %, OS: 37 %). Stürze wurden fast immer als Unfallursache angegeben (MIS: 83 %, OS: 82 %). Die operative Versorgung erfolgte überwiegend bisegmental (MIS: 84 %, OS: 83 %). Die Implantatverweildauer lag bei MIS mit 305,5 Tagen unter dem von OS mit 313,9 Tagen. Die Datenerhebung erfolgte aus archivierten Patientenakten. Die digitalisierten Röntgen-, CT- und MRT-Aufnahmen wurden mit dem Computerprogramm IMPAX EE ausgewertet.

Die Bestimmung der Grundplatten-Deckplattenwinkel (GDW) im sagittalen Profil erfolgte präoperativ, direkt nach der Operation und 6 Wochen, 3, 6 und 12 Monate postoperativ anhand radiologischer Bilder. Mit Hilfe der GDW wurde der durch die Operation erreichte Repositionsgewinn bzw. der im Laufe der Zeit entstandene Retentionsverlust berechnet. Der direkt postoperative Wert wurde als Ausgangswert herangezogen. Mittels der gebildeten Durchschnittswerte wurden beide Verfahren einander gegenübergestellt und es wurde gemes-

sen, ob ein Unterschied im Repositionsgewinn durch die Operation bzw. im Retentionsverlust zu den angegebenen Zeitpunkten besteht. Es zeigte sich, dass OS intraoperativ einen höheren Repositionsgewinn erreicht bzw. der Retentionsverlust durchgehend geringer ist als bei MIS, jedoch bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Verfahren. Bei der isolierten Betrachtung von MIS (monoaxiale versus polyaxiale Schrauben) wurde kein signifikanter Unterschied weder bei der Reposition noch bei der Retention festgestellt. Lediglich bei der gesonderten Untersuchung der bisegmental stabilisierten Magerl-A3.1 Brüche wurde ein signifikanter Unterschied bei der Reposition bemerkt (MIS monoaxial vs. OS:  $p = 0,023$  und MIS polyaxial vs. OS:  $p = 0,041$ ), der aber im Hinblick auf den Retentionsverlust nicht mehr auffiel. Bei der Gegenüberstellung der Durchschnittswerte des postoperativen Krankenhausaufenthaltes ( $p = 0,016$ ) und der Operationszeit ( $p < 0,0001$ ) lässt sich ein signifikanter Unterschied demonstrieren. Die Operationsdauer bzw. der Klinikbesuch nach der Operation ist bei MIS um 26,85 Minuten bzw. 2,12 Tage verkürzt. Die Analyse der Anzahl an Revisionseingriffen ergab keinen signifikanten Unterschied.

Die Arbeit zeigt, dass beide Systeme gleichwertig zuverlässig sind in Bezug auf intraoperative Aufrichtungsmöglichkeiten und in Hinsicht auf die Stabilität in dem Zeitraum, in dem sich das Implantat in situ befand. Durch den arbeitsintensiveren Aufwand wie die Eröffnung der Muskulatur oder die Versorgung der Hautnaht verzögert sich die Operation bei OS. Diese Schritte entfallen bei MIS, auch wenn diese Methode mehr Erfahrung und Geschick abverlangt. MIS bietet durch den schonenderen Eingriff einen verkürzten postoperativen Klinikaufenthalt. Durch die Verkleinerung des Zugangstraumas wird Komplikationen vorbeugt, wovon vor allem ältere und immungeschwächte Patienten profitieren.

## 6 Literaturverzeichnis

- Beck, A., Bayeff-Filloff, M., Sauerland, S., & Huber-Lang, M. (2005). Wirbelsäulenverletzung in der Präklinik. *Notfall & Rettungsmedizin*, 8(3), 162–170. doi:10.1007/s10049-005-0726-6
- Beck, M., & Mittlmeier, T. (2008). Thorakolumbale Frakturen – Operative Versorgung. *Trauma und Berufskrankheit*, 10(S2), 182–186. doi:10.1007/s10039-008-1397-6
- Blattert, T. R., & Katscher, S. (2013). Chirurgie der verletzten Wirbelsäule. (V. Bühren & C. Josten, Eds.), 69–84. doi:10.1007/978-3-642-02208-1
- Blauth, & Bastian. (1999). Interobserverreliabilität bei der Klassifikation von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen. *Der Orthopäde*, 28, 662–681. Retrieved from <http://www.springerlink.com/content/1d8fxn3vbamwqnpk/fulltext.pdf>
- Breasted, J. (1930). The Edwin Smith Surgical Papyrus (pp. 316–342, 425–428). Chicago.
- De Iure, F., Cappuccio, M., Paderni, S., Bosco, G., & Amendola, L. (2012). Minimal invasive percutaneous fixation of thoracic and lumbar spine fractures. *Minimally invasive surgery*, 2012, 141032. doi:10.1155/2012/141032
- Denis, F. (1983). The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine*, 8(8), 817–31. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6670016>
- Eurospine. (2007). EuroSpine - Anatomie der Wirbelsäule. Retrieved March 24, 2013, from <http://www.eurospine.org/f31000150.html>
- Gejo, R., Matsui, H., Kawaguchi, Y., Ishihara, H., & Tsuji, H. (1999). Serial changes in trunk muscle performance after posterior lumbar surgery. *Spine*, 24(10), 1023–8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10332796>
- Göbel, H. (2001). Epidemiologie und Kosten chronischer Schmerzen- Spezifische und unspezifische Rückenschmerzen. *Schmerz (Springer Verlag)*, 92–98. Retrieved from [http://www.kompetenznetz-parkinson.de/montag\\_1000\\_3\\_rueckenschmerzen\\_kosten\\_und\\_epidemiologie.pdf](http://www.kompetenznetz-parkinson.de/montag_1000_3_rueckenschmerzen_kosten_und_epidemiologie.pdf)
- Gonschorek, O., & Bühren, V. (2013a). Chirurgie der verletzten Wirbelsäule. (V. Bühren & C. Josten, Eds.), 223–244. doi:10.1007/978-3-642-02208-1
- Gonschorek, O., & Bühren, V. (2013b). Chirurgie der verletzten Wirbelsäule. (V. Bühren & C. Josten, Eds.), 407–420. doi:10.1007/978-3-642-02208-1
- Grass, R., Biewener, A., & Dickopf, A. (2005). Perkutane Dorsale Versus Offene Instrumentation Bei Frakturen Des Thorakolumbalen Überganges - Eine Vergleichende Prospektive Untersuchung. *Trauma und Berufskrankheit*, 7(S02), S354–S362. doi:10.1007/s10039-005-1072-0

- Grotle, M., Brox, J. I., Veierød, M. B., Glomsrød, B., Lønn, J. H., & Vøllestad, N. K. (2005). Clinical course and prognostic factors in acute low back pain: patients consulting primary care for the first time. *Spine*, 30(8), 976–82. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15834343>
- Harms, J. (2007a). Harms- Spinesurgery. Retrieved from <http://harms-spinesurgery.com/src/plugin.php?m=harms.FRA02.04D>
- Harms, J. (2007b). Harms- Spinesurgery. Retrieved from <http://www.harms-spinesurgery.com/src/plugin.php?m=harms.FRA05D>
- Hildebrand, P., Roblick, U. J., Keller, R., Kleemann, M., Mirow, L., & Bruch, H.-P. (2007). [What is the value of minimizing access trauma for patients?]. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizen*, 78(6), 494, 496–500. doi:10.1007/s00104-007-1348-y
- Hoffmann, G., & Siegfried, I. (2005). Kongressbericht: Volkskrankheit Rückenschmerz : neue Sichtweisen, 1–28. Retrieved from <http://www.egms.de/static/pdf/meetings/ruecken2004/04ruecken1.pdf>
- Holdsworth, F. (1970). Fractures, Dislocations, and Fracture-Dislocations of the Spine. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 52(8), 1534–1551. Retrieved from <http://jbjs.org/article.aspx?articleid=15471>
- Josten, C., Katscher, S., & Gonschorek, O. (2005). Therapiekonzepte bei Frakturen des thorakolumbalen Überganges und der Lendenwirbelsäule. *Der Orthopäde*, 34(10), 1021–1032. doi:10.1007/s00132-005-0880-z
- Junghanns, H. (1977). *Nomenclatura Columnae Vertebralis. Wörterbuch der Wirbelsäule. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis; Bd.75*. Stuttgart: Hippokrates.
- Knop, C., Blauth, M., Bühren, V., & Hax, P. (1999). Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs. *Der Unfallchirurg*, 102, 924–935. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/UX11X6TFRJTGWDNC.pdf>
- Kramer, M., Katzmaier, P., & Eisele, R. (2001). Surface electromyography-verified muscular damage associated with the open dorsal approach to the lumbar spine. *European Spine Journal*, 10(5), 414–420. doi:10.1007/s005860100294
- Lee, J. Y., Vaccaro, A. R., Lim, M. R., Oner, F. C., Hulbert, R. J., Hedlund, R., Fehlings, M. G., et al. (2005). Thoracolumbar injury classification and severity score: a new paradigm for the treatment of thoracolumbar spine trauma. *Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association*, 10(6), 671–5. doi:10.1007/s00776-005-0956-y
- Lee, K. H., Yue, W. M., Yeo, W., Soeharno, H., & Tan, S. B. (2012). Clinical and radiological outcomes of open versus minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 21(11), 2265–70. doi:10.1007/s00586-012-2281-4

- Lippert, H. (2003). Lehrbuch Anatomie (6th ed., pp. 119–136). Hannover: Elsevier, Urban & Fischer.
- Ma, Y., Li, X., Dong, J., Wang, H., Zhou, X., & Li, C. (2012). Comparison of percutaneous versus open monosegment instrumentation in the treatment of incomplete thoracolumbar burst fracture. *Zhonghua yi xue za zhi*, 92(13), 904–8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22781532>
- Magerl, F., Aebi, M., Gertzbein, S. D., Harms, J., & Nazarian, S. (1994). A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 3(4), 184–201. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7866834>
- Medizin Technik Mauk. (2012). *Reco Op- Anleitung*. Norderstedt.
- Müller, M. (2010). *Chirurgie* (10th ed., pp. 424–431). Medizinische Verlags- und Informationsdienste.
- NetDoktor. (2010). Wirbel (Vertebra). Retrieved March 24, 2013, from <http://www.netdoktor.de/Gesund-Leben/Anatomie/Wirbelsaeule-der-Aufbau-9481.html>
- Neubauer, T., & Wagner, M. (2009). Minimally invasive plate osteosynthesis: current state. Part 1: General information. *Der Unfallchirurg*, 112(10), 885–94; quiz 895. doi:10.1007/s00113-009-1678-y
- Niethard, Pfeil, & Biberthaler. (2009). *Orthopädie und Unfallchirurgie* (6th ed.). Thieme, Duale Reihe.
- Palmisani, M., Gasbarrini, a, Brodano, G. B., De Iure, F., Cappuccio, M., Boriani, L., Amendola, L., et al. (2009). Minimally invasive percutaneous fixation in the treatment of thoracic and lumbar spine fractures. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 18 Suppl 1(May 2005), 71–4. doi:10.1007/s00586-009-0989-6
- Pang, D. (2004). Spinal cord injury without radiographic abnormality in children, 2 decades later. *Neurosurgery*, 55(6), 1325–42; discussion 1342–3. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15574214>
- Prokop, A., Koukal, C., Dolezych, R., & Chmielnicki, M. (2012). Minimalinvasive Versorgung von thorakolumbalen Wirbelfrakturen. *Trauma und Berufskrankheit*, 14(S3), 335–343. doi:10.1007/s10039-011-1800-6
- Prokop, A., Löhlein, F., Chmielnicki, M., & Volbracht, J. (2009). Minimally invasive percutaneous instrumentation for spine fractures. *Der Unfallchirurg*, 112(7), 621–4, 626–8. doi:10.1007/s00113-008-1556-z

- Reinhold, M., Knop, C., Beisse, R., Audigé, L., Kandziora, F., Pizanis, a, Pranzl, R., et al. (2010). Operative treatment of 733 patients with acute thoracolumbar spinal injuries: comprehensive results from the second, prospective, Internet-based multicenter study of the Spine Study Group of the German Association of Trauma Surgery. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 19(10), 1657–76. doi:10.1007/s00586-010-1451-5
- Reinhold, M., Knop, C., Lange, U., Bastian, L., & Blauth, M. (2003). Non-operative treatment of thoracolumbar spinal fractures. Long-term clinical results over 16 years. *Der Unfallchirurg*, 106(7), 566–76. doi:10.1007/s00113-003-0607-8
- Rieger, M., Mallouhi, A., El-Attal, R., Kathrein, A., Knop, C., Blauth, M., & Jaschke, W. (2006). Acute diagnosis of spinal trauma. *Der Radiologe*, 46(6), 527–41; quiz 542–3. doi:10.1007/s00117-006-1355-x
- Robert Koch-institut. (2012). Gesundheitsberichterstattung des Bundes. *HEFT 53*. Retrieved from [http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsT/rueckenschmerzen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsT/rueckenschmerzen.pdf?__blob=publicationFile)
- Rössler, H., & Rüther, W. (2005). Orthopädie und Unfallchirurgie (19th ed., pp. 345–395). Elsevier, Urban & Fischer.
- Schnake, K. J., Kandziora, F., & Hoffmann, R. (2009). Thorakolumbale Frakturen. *Trauma und Berufskrankheit*, 11(2), 87–93. doi:10.1007/s10039-009-1490-5
- Schueller, G. (2010). Who is who revisited: spinal trauma. *Der Radiologe*, 50(12), 1084–95. doi:10.1007/s00117-010-2030-9
- Shunwu, F., Xing, Z., Fengdong, Z., & Xiangqian, F. (2010). Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of degenerative lumbar diseases. *Spine*, 35(17), 1615–20. doi:10.1097/BRS.0b013e3181c70fe3
- Silver, J. R. (2005). History of the treatment of spinal injuries. *Postgraduate medical journal*, 81(952), 108–14. doi:10.1136/pgmj.2004.019992
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2013). Gesundheitsausgaben 2011, 128. Retrieved from <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Gesundheit/Gesundheitsausgaben/Aktuell.html>
- Tittel, K. (1999). *Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen* (13th ed., pp. 74–90). Urban & Fischer.
- Tscherne, H., & Blauth, M. (1998). *Unfallchirurgie: Wirbelsäule* (pp. 242–371). Springer-Verlag.
- Wang, H., Li, C., Zhou, Y., Zhang, Z., Wang, J., & Chu, T. (2010). Percutaneous pedicle screw fixation through the pedicle of fractured vertebra in the treatment of type A thoracolumbar fractures using Sextant system: an analysis of 38 cases. *Chinese journal*

*of traumatology* = *Zhonghua chuang shang za zhi / Chinese Medical Association*, 13(3), 137–45. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20515590>

Whitesides, T. E. (1977). Traumatic kyphosis of the thoracolumbar spine. *Clinical orthopaedics and related research*, (128), 78–92. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/340100>

Wild, M. H., Glees, M., Plieschnegger, C., & Wenda, K. (2007). Five-year follow-up examination after purely minimally invasive posterior stabilization of thoracolumbar fractures: a comparison of minimally invasive percutaneously and conventionally open treated patients. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 127(5), 335–43. doi:10.1007/s00402-006-0264-9

Yang, W. E., Ng, Z. X., Koh, K. M. R., Low, S. W., Lwin, S., Choy, K. S. D., Seet, E., et al. (2012). Percutaneous pedicle screw fixation for thoracolumbar burst fracture: a Singapore experience. *Singapore medical journal*, 53(9), 577–81. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23023897>



## **7      Versicherung**

Hiermit versichere ich, Florian Scheuerlein, dass die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt wurde. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Kiel, den

## **8 Erklärung**

Diese Doktorarbeit wurde unter der wissenschaftlichen Betreuung von Prof. Dr. med. Andreas Seekamp und PD Dr. med. Sebastian Lippross in der Klinik für Unfallchirurgie im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel an der Christian-Albrechts-Universität verfasst.

Frühere Promotionsverfahren haben nicht stattgefunden.

Kiel, den

## 9 Ethik-Kommission

MEDIZINISCHE FAKULTÄT  
DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL

ETHIK-KOMMISSION



Universitäts-Kinderklinik · Schwanenweg 20 · 24105 Kiel

PD Dr. med. Sebastian Lippross  
Klinik für Unfallchirurgie  
UKSH, Campus Kiel  
Arnold-Heller-Str. 3  
24105 Kiel

Postadresse:  
Arnold-Heller-Straße 3 / Haus 9  
D-24105 Kiel

Telefon 04 31 / 597-18 09  
Telefax 04 31 / 597-53 33  
ethikkomm@email.uni-kiel.de

Datum: 2.05.2013

**AZ.: D 450/13**  
**Studienplan:**

(bitte stets angeben)

**Retrospektive Analyse von klinischen und röntgenologischen Verlaufsparemtern nach perkutaner minimal-invasiver dorsaler Instrumentierung von Wirbelkörperfrakturen im thorakolumbalen Übergang**

Anschreiben mit Projektplan

**Datum des**

**Erstantrages: 19.11.2012**

**Datum des**

**überarb. Antrages: 09.04.2013 (Eingang 12.04.2013)**

Sehr geehrter Herr Kollege Lippross,

vielen Dank für Ihren obengenannten Antrag zur Beratung gemäß § 15 Berufsordnung (BO) der Ärztekammer Schleswig-Holstein.

Nach Durchsicht der Unterlagen durch die Geschäftsstelle und durch mich als Vorsitzenden der Ethik-Kommission bestehen gegen die Durchführung der Studie nunmehr keine berufsethischen und berufsrechtlichen Bedenken.

Es wird darauf hingewiesen, dass künftige Änderungen des Antrages der Ethik-Kommission anzuzeigen sind und gegebenenfalls eine erneute Beratung erforderlich machen.

Nach Abschluss der Studie erbittet die Kommission einen kurzen Bericht mit einem Hinweis, ob im Laufe der Studie ethische oder juristische Probleme aufgetreten sind.

Mit freundlichen kollegialen Grüßen

Prof. Dr. med. H. M. Mähdorn  
Vorsitzender der Ethik-Kommission

Dr. med. Christine Glinicke  
Geschäftsführung der Ethik-Kommission

## 10 Danksagung

Ich bedanke mich ganz herzlich bei meinem Doktorvater PD Dr. Sebastian Lippross, Oberarzt der Klinik für Unfallchirurgie (Direktor: Prof. Dr. med. Andreas Seekamp), Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel, dass er immer mit Rat und Tat zur Seite stand. Besonders hervorzuheben ist die mir entgegengebrachte Geduld und Unterstützung. Danke für die Überlassung des Themas dieser Doktorarbeit und die stets hervorragende Betreuung!

Desweiteren möchte ich mich für die Hilfe von Herrn Professor Steinfath, Direktor der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel für die zügige Bereitstellung von relevantem Informationsmaterial bedanken.

Ein außerordentliches Lob geht an Herrn Dr. Müller, stellvertretender Direktor der Klinik für Unfallchirurgie (Direktor: Prof. Dr. med. Andreas Seekamp), Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel für die stete Hilfsbereitschaft, die eine zeitige Fertigstellung dieser Arbeit ermöglichte.

Als nächstes möchte ich mich bei Herrn Jochens vom Institut für Medizinische Informatik und Statistik (Direktor: Prof. Dr. rer. nat. Michael Krawczak), Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel für die statistische Bearbeitung bedanken.

Ein besonderes Lob geht an Herrn Dr. Kopetsch von der Klinik für Diagnostische Radiologie (Direktor: Prof. Dr. med. Olav Jansen), Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel, der mir bei Fragen zur Anwendung des radiologischen Programms IMPAX EE zur Seite stand.

## 11 Curriculum Vitae

### Persönliche Daten

Name:	Florian Scheuerlein
Anschrift:	Brunnenweg 14 91187 Röttenbach
Geburtsdatum:	16.05.1988
Geburtsort:	Erlangen
Nationalität :	deutsch
Konfession:	römisch-katholisch
Familienstand:	ledig

### Ausbildung

1994 - 1998	Grundschule Röttenbach
1998 - 2004	Werner-von-Siemens Gymnasium Weißenburg
2004 - 2005	Shawnee Mission Northwest High School, Shawnee Mission, USA
2005 - 2007	Werner-von-Siemens Gymnasium
2008 - 2010	Studium Humanmedizin, Riga Stradins Universität, Riga, Lettland
seit 2010	Studium Humanmedizin, Christian-Albrechts-Universität Kiel